

THÈSES

PRÉSENTÉES A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
POUR OBTENIR
LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M^{lle} Simonne CAILLÈRE

Première Thèse :

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES MINÉRAUX DES SERPENTINES

Deuxième Thèse :

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 3^e juillet 1936 devant la Commission d'examen

MM. CH. MAUGUIN, *Président*

M. GUICHARD } *Examineurs*
J. WYART }

PARIS

1936

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES MINÉRAUX DES SERPENTINES

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire.....
Doyen

M. MOLLIARD.
C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

<i>Professeurs honoraires.</i>	H. LE CHATELIER.	Rémy PERRIER.	PECHARD.	JANET.
	H. LEBESGUE.	Léon BRILLOUIN.	FREUNDLER.	LESPIEAU.
	A. FERNBACH.	GOURSAT.	AUGER.	MARCHIS.
	A. LEDUC.	WALLERANT.	BLAISE.	MOUTON.
	Émile PICARD.	GUILLET.	DANGEARD.	

PROFESSEURS

G. BERTRAND....	T	Chimie biologique.	ROBERT-LÉVY ...	Zoologie.
M. CAULLERY....	T	Zoologie (Évolution des êtres organisés).	F. PICARD.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
G. URBAIN.....	T	Chimie générale.	HENRI VILLAT....	T Mécanique des fluides et applications.
Emile BOREL....	T	Calcul des probabilités et Physique mathém.	Ch. JACOB.....	T Géologie.
ean PERRIN....	T	Chimie physique.	P. PASCAL.....	T Chimie minérale.
H. ABRAHAM....	T	Physique.	M. FRÉCHET....	T Calcul différentiel et Calcul intégral.
E. CARTAN.....	T	Géométrie supérieure.	E. ESCLANGON...	T Astronomie.
M. MOLLIARD...	T	Physiologie végétale.	M ^{me} RAMART-LUCAS.....	T Chimie organique.
L. LAPICQUE....	T	Physiologie générale.	H. BÉGHIN.....	T Mécanique physique et expérimentale.
A. COTTON.....	T	Recherches physiques.	FOCH.....	Mécanique expérimentale des fluides.
J. DRACH.....	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	PAUTHENIER....	Physique (P.C.B.).
Charles FABRY...	T	Enseignement physique.	DE BROGLIE....	T Théories physiques.
Charles PÉREZ...	T	Zoologie.	CHRÉTIEN.....	Optique appliquée.
Léon BERTRAND.	T	Géologie structurale et géologie appliquée.	P. JOB.....	Chimie générale.
P. PORTIER.....	T	Physiologie comparée.	LABROUSTE....	Physique du Globe.
E. RABAUD.....	T	Biologie expérimentale.	PRENANT.....	Zoologie.
M. GUICHARD....	T	Chimie minérale.	VILLEY.....	Mécanique physique et expérimentale.
Paul MONTEL...	T	Théorie des fonctions et Théorie des transformations.	BOHN.....	Zoologie (P.C.B.).
P. WINTREBERT.	T	Anatomie et histologie comparées.	COMBES.....	Botanique (P.C.B.)
L. BLARINGHEM..	T	Botanique.	GARNIER.....	T Mathématiques gén.
O. DUBOSQ....	T	Biologie maritime.	PÈRES.....	Mécanique des fluides.
G. JULIA.....	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.	HACKSPILL....	(Chimie (P. C. B.)
C. MAUGUIN....	T	Minéralogie.	LAUGIER.....	Physiologie générale.
A. MICHEL-LÉVY.	T	Pétrographie.	TOUSSAINT....	Technique Aéronautique.
H. BÉNARD.....	T	Mécanique expérimentale des fluides.	M. CURIE.....	Physique (P.C.B.).
A. DENJOY.....	T	Application de l'analyse à la Géométrie.	G. RIBAUD.....	T Hautes températures.
L. LUTAUD.....	T	Géographie physique et géologie dynamique.	CHAZY.....	T Mécanique rationnelle.
Eugène BLOCH..	T	Physique théorique et physique céleste.	GAULT.....	Chimie (P.C.B.).
G. BRUHAT.....	T	Physique.	CROZE.....	Physique.
E. DARMOIS....	T	Enseign. de Physique.	DUPONT.....	T Théories chimiques.
A. DEBIERNE....	T	Radioactivité.	LANQUINE....	Géologie.
A. DUFOUR.....	T	Physique (P. C. B.).	VALIRON.....	Mathématiques gén.
L. DUNOYER....	T	Optique appliquée.	BARRABÉ.....	Géologie structurale et géologie appliquée.
A. GUILLIERMOND.	T	Botanique.	MILLOT.....	Zoologie (P.C.B.).
M. JAVILLIER...		Chimie biologique.	F. PERRIN.....	Théories physiques.
L. JOLEAUD....		Paléontologie.	VAVON.....	Chimie organique.
			G. DARMOIS....	Calcul des Probabilités et Phys.-Math.

Secrétaire..... A. PACAUD.
Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK.

THÈSES

PRÉSENTÉES A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M^{lle} Simonne CAILLÈRE

Première Thèse :

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES MINÉRAUX DES SERPENTINES

Deuxième Thèse :

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le juin 1936 devant la Commission d'examen

MM. CH. MAUGUIN, *Président*

M. GUICHARD { *Examineurs*
J. WYART }

PARIS

—
1936

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN



THE UNIVERSITY OF LEIDEN

THE UNIVERSITY OF LEIDEN

A MON MAITRE

M. A. LACROIX

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

*En témoignage
de ma respectueuse reconnaissance.*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INTRODUCTION

La « serpentine » est connue depuis l'Antiquité ; les Romains en exploitaient déjà plusieurs gisements et tissaient la variété fibreuse. Ce terme a été, pendant longtemps, employé indifféremment pour désigner soit les silicates de magnésie hydratés provenant de l'altération des silicates magnésiens tels que les péridots ou les pyroxènes, soit les roches constituées par l'association de ces minéraux avec d'autres espèces telles que le talc et parfois même des fragments des silicates magnésiens d'où ils proviennent. M. A. LACROIX a proposé d'employer le terme de « serpentine » uniquement pour désigner les roches, et la dénomination générale de minéraux des serpentines pour désigner les silicates de magnésie hydratés de formule $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$ se présentant au milieu de ces roches en agrégats de facies variés. C'est dans le même sens que j'emploierai ces subdivisions générales au cours de mon exposé.

Les serpentines ont donné lieu à de nombreux travaux ; toutefois les études d'ensemble sont rares. Certains auteurs se sont attachés plus spécialement à la connaissance d'un minéral, d'autres se sont occupés d'étudier une seule propriété dans une série d'échantillons. Mais on n'avait pu déterminer avec certitude si les *différences* de

facies observées correspondaient vraiment à des *différences* fondamentales dans les caractères spécifiques.

Un travail plus complet restait à exécuter afin d'établir ces caractères sur des bases nouvelles. En effet, les méthodes employées jusqu'à présent, et en particulier les méthodes optiques, si fécondes dans l'étude de la plupart des autres minéraux, s'étaient ici révélées insuffisantes, en raison de la *texture* toute spéciale de ces substances.

J'ai donc tenté de nouvelles recherches à l'aide des méthodes physico-chimiques modernes, sur un grand nombre d'échantillons possédant des facies variés. Je me suis surtout attachée à l'étude d'individualités minéralogiques bien caractérisées et homogènes, se formant dans les fentes des serpentines et dont les noms seront mentionnés plus loin. En outre, j'ai appliqué aussi certaines de ces méthodes nouvelles à quelques serpentines massives, pour établir l'identité des caractères spécifiques de leurs constituants avec la plupart de ces minéraux à facies exceptionnels.

Les échantillons étudiés proviennent de la collection du Muséum, de celle de l'École des Mines ou de mes récoltes personnelles.

Les méthodes nouvelles que j'ai mises en œuvre s'appliquent à l'étude complète du processus de déshydratation du minéral. Elles comprennent : l'analyse thermique différentielle, la déshydratation dans le vide, et l'analyse aux rayons X par la méthode des poudres, des minéraux originels et des produits de leurs transformations successives sous l'action de la chaleur. Comme il n'est pas possible de connaître complètement un minéral si l'on fait abstraction du milieu où il a pris naissance, je donne, dans le premier chapitre, un très rapide historique des

théories de la serpentinitisation, ainsi qu'un résumé des principaux travaux relatifs aux propriétés des serpentines.

Dans le second chapitre, j'indique les résultats d'ordre physique et chimique.

L'étude des caractères nouveaux est exposée dans les deux chapitres suivants : étude thermique dans le troisième, identification des produits de calcination par les diagrammes de Debye et Scherrer dans le quatrième.

Je signale, dans le chapitre V, un certain nombre de types minéralogiques nouveaux d'antigorites.

Dans les sixième et septième chapitres j'étudie respectivement les types ferriques et nickélifères de serpentines. Enfin dans le chapitre VIII, je tente un essai de classification.

Avant de commencer l'exposé de ces différentes parties, je tiens à exprimer à mon Maître, M. A. LACROIX, ma profonde et respectueuse reconnaissance pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à mon travail, exécuté en son laboratoire ; à M. J. ORCEL, qui m'a initié aux recherches minéralogiques et m'a quotidiennement aidée de ses conseils, j'exprime ici toute ma gratitude.

Je remercie M. le Professeur MAUGUIN de l'accueil bienveillant qu'il m'a toujours réservé, M. J. WYART et M. P. GAUBERT des conseils qu'ils m'ont prodigués. Je prie M. F. GRANDJEAN, M. P. FALLOT et M. GIGNOUX, qui ont mis aimablement à ma disposition de nombreux échantillons, de trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

J'adresse également des remerciements à M^{me} E. JÉRÉMINE, à MM. DROPSY, GOLDSZTAUB, PAVLOVITCH, JOURAVSKY, qui m'ont, à maintes reprises, apporté une aide précieuse et efficace, soit dans mon travail expérimental, soit dans la traduction de travaux russes.

CHAPITRE I

HISTORIQUE

Les travaux relatifs aux minéraux des serpentines peuvent être groupés ainsi : genèse, composition chimique et constitution, caractères physiques et physico-chimiques.

I. — GENÈSE DES MINÉRAUX DES SERPENTINES.

La genèse de ces silicates a été très discutée ainsi que le montre le grand nombre de travaux relatifs à cette question et parmi lesquels je ne citerai que les plus importants. Les premiers auteurs les considèrent comme des minéraux sédimentaires, cependant Brongniart (9) et Élie de Beaumont (37) leur reconnaissent une origine ignée. Cette théorie non encore admise par G. P. Merrill (86), est généralement acceptée à la fin du xix^e siècle. Les travaux de T. Bonney et C. Raisin (6) mettent en évidence le rôle des phénomènes dynamiques. Puis, F. Cirkel (24) montre nettement la liaison entre les phénomènes pneumatolytiques et la serpentinitisation. D'autre part les observations de L. Duparc et H. Sigg (39), renforcées par celles de M. A. Lacroix (75), mettent en évidence que les magmas basiques sont accompagnés de minéralisateurs. W. N. Benson (4) admet ensuite que l'eau est nécessaire à la for-

mation de ces silicates et fait quatre hypothèses pour expliquer son origine :

1. Les roches encaissantes.

2. Les infiltrations de surface et les circulations souterraines.

Cette hypothèse ne suffit pas à interpréter les faits d'une façon satisfaisante.

3. Le magma basique lui-même.

Dans ce cas la serpentinisation devient un phénomène d'autopneumatolyse. Cette hypothèse explique : les observations de E. Weinschenk (116), de F. Angel (1) (les différentes serpentines correspondraient à des stades différents du refroidissement du magma) ; il se formerait d'abord l'antigorite en lamelles et dans un deuxième stade la serpentine à structure maillée.

4. Un magma acide qui a fait intrusion dans la roche basique ou à son voisinage.

Cette origine hydrothermale de la serpentine est admise par E. Portevin et R. Graham (97) dans leur étude de la région de Black Lake.

Après les travaux de M. F. Loewinson-Lessing (83) l'origine magmatique des eaux provoquant la serpentinisation est seule retenue. Ensuite P. Wagner (111) adopte l'hypothèse de l'autopneumatolyse.

En 1933, H. Hess (64), comme P. Wagner, considère la serpentinisation comme une altération due au dernier liquide du magma par action autométamorphique. Il admet d'autre part que la stéatitisation se produit grâce à l'intervention des eaux chaudes provenant d'intrusions acides, par un mécanisme hydrothermal. Si satisfaisante que puisse paraître cette explication, elle n'est pas unanimement adoptée. S. B. Keith et G. Bain (69), A. Coulson (30) considèrent encore la serpentinisation comme un phé-

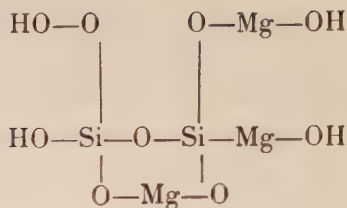
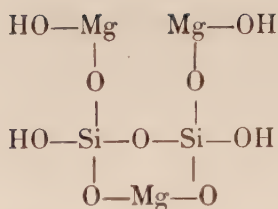
nomène hydrothermal en liaison avec des venues d'acides. Enfin un récent travail de T. Durietz (40) confirme les affirmations de H. Hess.

II. — COMPOSITION CHIMIQUE ET CONSTITUTION

Quel que soit le processus de leur formation, on peut considérer les minéraux des serpentines comme des produits d'hydratation de l'olivine (2), du pyroxène (87) (11) ou de l'amphibole (113). Ces silicates ont un facies extrêmement variable, ce qui explique le grand nombre de noms par lesquels on les désigne : antigorite, métaxite, picrolite, picrosmine, schweitzérite, baltimorite, marmolite, bowénite, williamsite, chrysotile, pour ne citer que ceux mentionnés par M. A. Lacroix (72). A ces nombreux types on attribue généralement une même formule chimique, sans toutefois connaître leur constitution. Certains auteurs les envisagent comme des chlorites sans alumine.

Déjà J. Lemberg (79) en 1877 met en relief l'importance de la connaissance du rôle de l'eau dans ces minéraux et étudie la déshydratation d'un échantillon de Finlande, sa réhydratation dans une atmosphère humide, puis sa perte d'eau au-dessus de l'acide sulfurique. N'ayant étudié qu'un seul échantillon, il ne lui est pas possible d'arriver à des conclusions d'ordre général.

G. Tschermak (109), ayant en vue l'étude des chlorites, cherche à interpréter la formule globale de la « serpentine » $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$. Il utilise pour cela deux schémas représentatifs, l'un symétrique et l'autre asymétrique :



mais pour tenir compte des propriétés et mettre plus facilement en évidence les deux molécules d'olivine nécessaires à la formation de la serpentine, G. Tschermak pense qu'on doit préférer la formule symétrique.

Ensuite, F. Clarke et E. Schneider (27) étudient le comportement de cinq variétés de minéraux des serpentines (chrysotile, picrolite, serpentine jaune, serpentine verte et deweylite) vis-à-vis de l'acide chlorhydrique sec gazeux. Ils constatent qu'avec ces différents minéraux, de formule globale $\text{H}^4 \text{Mg}^3 \text{Si}^2 \text{O}^9$, la quantité de magnésium enlevée par le gaz chlorhydrique est sensiblement la même et égale, environ, au tiers du magnésium contenu dans la formule. Ces auteurs, admettant en outre que seul le magnésium du groupement Mg OH peut se combiner avec l'acide chlorhydrique, donnent aux différentes variétés une même formule $\text{Mg}^2 (\text{Si O}^4)^2 \text{H}^3. \text{Mg OH}$. Puis la méthode de Clarke et Schneider est appliquée à un grand nombre d'échantillons par A. Lindner (81) qui constate une variation dans l'importance de l'attaque suivant la texture des minéraux. Ces résultats le conduisent à considérer deux groupes de serpentines compactes et deux groupes de serpentines fibreuses.

D'autre part R. Brauns (8) en 1894 critique les expériences de Clarke et de Schneider : l'attaque de la « serpentine » n'a pratiquement pas été faite avec l'acide chlorhydrique sec et il n'est pas prouvé que l'acide chlorhy-

drique gazeux enlève uniquement le magnésium lié à OH. R. Brauns pense que l'olivine ne donne pas directement la « serpentine » par hydratation et qu'il se forme intermédiairement, par élimination d'une partie du magnésium, la villarsite $\text{Si}^2 \text{O}^7 \text{Mg}^2 (\text{Mg OH}) \text{H}$; celle-ci, par un processus d'altération analogue, donne la serpentine : $\text{Si}^2 \text{O}^7 \text{Mg} (\text{Mg OH})^2 \text{H}^2$. Cette formule permet d'expliquer que toute l'eau ne se dégage pas à une même température et met, en même temps, en évidence la séparation du composé restant, en olivine et en enstatite.

Dans la *Minéralogie de la France et de ses Colonies* M. A. Lacroix admet seulement pour les différentes variétés la formule globale $\text{H}^4 \text{Mg}^3 \text{Si}^2 \text{O}^9$.

W. J. Vernadsky (110), comme Clarke, Schneider et Brauns, ne fait aucune différence entre les variétés. Il considère la « serpentine » comme formée par un noyau d'orthosilicate sur lequel se fixe, par addition, un métasilicate.

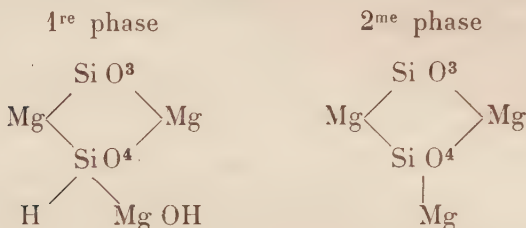
D'autre part, Sylvia Hillebrand (63), appliquant l'idée de G. Tschermak à différents minéraux des serpentines, conclut à l'existence de deux variétés isomères dont l'une se trouve dans la forme compacte, l'autre dans le chrysotile.

D. Foggy (42) étudie de la même manière l'antigorite de Snarum (pseudomorphose d'olivine) et pense y trouver l'acide serpentinique d'Hillebrand.

Puis F. Zambonini (118) dans son mémoire sur les hydro-silicates, examine trois échantillons de « serpentines » (bowénite, serpentine noble, chrysotile) auxquels il attribue la formule globale $\text{H}^4 \text{Mg}^3 \text{Si}^2 \text{O}^9$ comme les auteurs précédents, et il spécifie qu'il n'entre dans cette formule que l'eau se dégageant au-dessus de 500° . Cependant il reconnaît avec S. Hillebrand que la teneur en eau totale d'un chrysotile est supérieure à celle d'une variété compacte,

mais que cette différence ne porte que sur la quantité d'eau se dégageant à 105°.

En 1914, F. W. Clarke (25), malgré les objections de A. Lindner et de R. Brauns, persiste à représenter par un schéma dissymétrique la constitution des « serpentines ». Il indique qu'après déshydratation il reste le composé $\text{Si}^2 \text{O}^7 \text{Mg}^3$, mais que le départ de l'eau se fait en deux fois. On peut ainsi représenter chacune de ces phases :



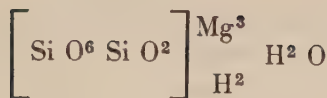
Si la calcination de la serpentine est de courte durée l'édifice de la deuxième phase subsiste mais si on prolonge le chauffage, ce corps se sépare en olivine et enstatite.

La formule globale est seule admise par H. Leitmeier (77). En 1917, V. Isküll (66) reprend les expériences de Clarke et Schneider mais en opérant dans des conditions plus précises. Il arrive à cette conclusion : la « serpentine » est un métasilicate hydroxylé dont il existe deux groupes ainsi que l'a montré S. Hillebrand :

1. La serpentine dense et le chrysotile qui sont du type de l'enstatite.

2. L'antigorite qui ressemble chimiquement à l'anthophyllite.

Quelques années plus tard, J. Jakob (68) applique aux silicates la théorie de Werner, et représente la constitution de la serpentine de la façon suivante :



Cette formule est d'ailleurs celle adoptée par P. Niggli (91). Dans un travail plus récent J. Jakob (67) ne conserve plus cette formule H^2O n'étant ni de l'eau hygroscopique ni de l'eau de constitution, il admet une formule de polymérisation.

Enfin en 1932 R. de Neuville (33) préconise une formule qui admet la possibilité d'une isomérisation. L'une des formes correspondrait à l'antigorite et l'autre au chrysotile, hypothèse en accord avec celle de S. Hillebrand, D. Foggy et V. Isküll.

III. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

Les caractères physiques (optiques, thermiques) des minéraux des serpentines, l'étude de leur structure cristalline à l'aide des rayons X, ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux que je résume brièvement ci-dessous.

1. — Propriétés optiques.

R. Brauns (7) remarqua, l'un des premiers, que les minéraux des serpentines ont un indice voisin de celui du baume de Canada, que leur biréfringence est faible et qu'elle peut même s'annuler par compensation. Il observe que dans l'antigorite feuilletée le signe optique est négatif et que dans le chrysotile il est positif.

G. Tschermak (109) est frappé de l'analogie qui existe entre les propriétés optiques des minéraux des serpentines

et des chlorites. Au microscope, il constate que les variétés compactes sont constituées par un enchevêtrement de lamelles ou de baguettes et qu'elles possèdent toutes les mêmes propriétés optiques. Elles sont négatives, leur biréfringence est faible, l'angle $2E$ oscille entre 16° et 98° . Toutefois, dans les variétés fibreuses (chrysotile et métaxite) l'angle des axes est plus grand ; le signe optique est parfois positif, comme l'indiquent S. Websky (114) pour une métaxite et E. Reusch (98) pour le chrysotile de Reichenstein.

Puis G. Friedel (45) en 1891 étudie tout spécialement la variété pseudo-cubique de Brewster (New York). Il montre qu'entre chaque plan de séparation se trouvent intercalées des lamelles micacées transparentes, biaxes, optiquement négatives, dont l'indice est environ 1,50. D'autre part il voit dans cette antigorite deux parties : l'une cristalline formée par un réseau de lamelles rhombiques s'entrecroisant sous les angles du cube ou de l'octaèdre ; l'autre amorphe, remplissant tous les vides et contenant quelques fibres biréfringentes extrêmement fines.

L'étude optique complète de tous ces minéraux a été faite ensuite par M. A. Lacroix (72) qui les divise en deux groupes :

1. L'antigorite (orthorhombique et pseudo-cubique) est caractérisée par un clivage h^1 perpendiculaire à la bissectrice aiguë négative. L'angle $2E$ est variable (0° à 110°), les macles donnent un groupement pseudocubique, $n_m = 1,57$ (pour l'antigorite d'Antigorio). La variété verte est légèrement polychroïque. Comme R. Brauns, M. A. Lacroix admet que la superposition des lamelles différemment orientées produit parfois, par compensation, une biréfringence presque nulle.

2. Le chrysotile, orthorhombique, optiquement positif,

présente un allongement suivant n_g . L'angle $2E$ est variable, la biréfringence est de 0,011 environ. M. A. Lacroix signale encore deux variétés optiquement positives : la métaxite à structure microscopique zonaire transversale à l'allongement des fibres et le picrolite qui apparaît, au microscope, sous forme de rubans rappelant l'aspect de certaines algues.

En 1896, les travaux de E. Weinschenk (115) confirment les résultats obtenus par M. A. Lacroix. Puis A. Hamberg (55) étudie un type pseudo-cubique de Persberg dont les propriétés optiques sont identiques à celles des antigorites de Brewster (45) et de Moncaup (72).

Dans son traité de Minéralogie, P. Niggli (91) insiste sur les difficultés que l'on rencontre dans l'étude microscopique de ces minéraux, car, même aux plus forts grossissements, il est impossible de distinguer un seul cristal. Il considère la serpentine feuilletée comme pseudo-hexagonale et la variété fibreuse comme orthorhombique. Pour cet auteur la serpentine compacte renferme les deux variétés : l'antigorite optiquement négative et le chrysotile optiquement positif.

Enfin, F. C. Phillips (96) et P. Gallitelli (46) examinent de nouveaux échantillons de serpentine et aboutissent toujours aux mêmes conclusions que M. A. Lacroix.

2. — Étude thermique.

Daubrée (32) en utilisant la serpentine noble de Snarum montre, le premier, qu'après fusion la serpentine se sépare en un mélange de deux silicates magnésiens : l'olivine, facilement mise en évidence à l'aide du microscope, et l'enstatite plus difficile à identifier. Cette transformation commence dès 1350°.

Plus tard, A. Cossa (29) constate que la serpentine de Favaro (Val d'Aoste) donne bien, par fusion, un mélange d'olivine et d'enstatite. Il remarque d'autre part qu'un fragment de serpentine de Varrayes est constitué, après calcination, par un noyau d'enstatite entouré d'olivine.

Les travaux de R. Brauns (8) confirment cette dissociation de la serpentine, mais établissent en outre qu'elle se produit déjà avant la fusion. V. Isküll (66) admet qu'il se forme après le départ de l'eau des serpentines un composé intermédiaire $\text{Si}^2 \text{O}^7 \text{Mg}^3$ qui se décompose ensuite en olivine et enstatite.

Plus récemment M. J. Orceel (93) en utilisant le dispositif d'analyse thermique Saladin-Le Chatelier met en évidence, dans l'antigorite pseudo-cubique de Tilly Foster, une transformation exothermique après le départ de l'eau.

Enfin, Haakon Haraldsen (57) étudiant à nouveau l'antigorite de Snarum précise que la majeure partie de l'eau de ce minéral se dégage entre 500° et 600°. Il étudie également les produits de calcination à l'aide des diagrammes de Debye et Scherrer et constate qu'au-dessus de 700° la substance met en évidence les raies de l'olivine et au-dessus de 1.000° celles de l'olivine et de l'enstatite. H. Haraldsen admet donc que la décomposition thermique de cette antigorite s'effectue en deux phases : vers 700°, il y a dégagement d'eau, formation d'olivine et de silice amorphe qui vers 1.000° se combine à la moitié de l'olivine pour donner de l'enstatite.

3. — Structure cristalline.

L'étude des minéraux des serpentines, à l'aide des rayons X, est à peine ébauchée. F. Rinne (99) a étudié le diagramme d'une serpentine fibreuse de Reichenstein et l'a

comparé à celui d'une webskyite. Il a constaté une grande analogie entre les deux spectres.

Enfin, B. E. Warren et W. L. Bragg (112), utilisant le chrysotile de Thetford (province de Québec), en déterminent la structure par analogie avec celle des amphiboles, et admettent la formule $Mg^6 (OH)^6 Si^4 O^{11} \cdot H^2 O$ qui met en évidence deux sortes d'eau de constitution.

Ce rapide aperçu historique montre donc que les méthodes physiques ou chimiques, appliquées d'ailleurs à un nombre d'échantillons relativement restreint, n'avaient permis d'établir, parmi ces substances, aucune différence caractéristique autre que le signe optique apparent et la texture.

Il fallait donc d'une part préciser les propriétés physiques et chimiques d'un nombre suffisant d'échantillons de facies variés et tenter de leur appliquer des méthodes physico-chimiques nouvelles susceptibles de mettre en évidence ou de faire soupçonner quelque différence de structure. J'ai donc repris systématiquement, à ces divers points de vue, l'étude des types purements magnésiens des minéraux de la serpentine et je l'ai étendue aux variétés ferrifères et nické-lifères.

Ces recherches demanderaient à être complétées par des essais de reproduction synthétique analogues à ceux commencés par J. Lemberg (78) et F. G. Wells (117), car ils permettraient peut-être d'interpréter certaines différences importantes de propriétés physico-chimiques indiquées au cours de ce travail.

Dans un ordre d'idées voisin il serait intéressant également de reprendre l'étude de la décomposition de ces minéraux dans diverses conditions ; je l'ai seulement effleurée en ce qui concerne l'action de l'eau sur l'antigorite.

CHAPITRE II

ÉTUDE PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES MINÉRAUX PUREMENT MAGNÉSIENS DE LA SERPENTINE

La connaissance des types purement magnésiens étant à la base d'une révision générale des espèces à englober dans le groupe des minéraux de la serpentine, j'exposerai tout d'abord les recherches que j'ai poursuivies sur eux, et donnerai, en premier lieu, dans ce chapitre, les caractères physiques et chimiques des échantillons étudiés.

I. — MÉTHODES UTILISÉES.

1. — Préparation de l'échantillon.

Après contrôle au microscope de la pureté de l'échantillon étudié, un fragment d'une dizaine de grammes environ est pulvérisé. Ce broyage, généralement facile, n'a pas besoin d'être très poussé, car l'attaque de tous ces silicates, par l'acide fluorhydrique ou le carbonate de soude, est très rapide. Dans le cas des variétés asbestiformes, on sépare un paquet de fibres que l'on coupe transversalement, au microtome, en petites baguettes de un ou deux millimètres de longueur. Tous les échantillons étudiés étaient assez gros

pour qu'il fût possible d'en extraire des fragments d'une pureté parfaite par simple triage. Il n'a pas été nécessaire d'avoir recours à une séparation par les liqueurs lourdes. Cependant dans certains de ces fragments l'étude microscopique révèle la présence de carbonate de calcium intercalé entre les fibres. La poudre obtenue a été traitée alors par une solution d'acide chlorhydrique à 10 %, à froid, et soumise à un nouvel examen microscopique pour en vérifier la pureté. Ce traitement ne modifie pas la composition de la substance étudiée qui est pratiquement inattaquable par les acides dilués.

2. — Mesure de la densité.

Tous les minéraux des serpentines étant fibreux, la mesure de leur densité doit être faite uniquement par la méthode de la balance hydrostatique, en utilisant le xylol comme liquide d'immersion. De plus, on a toujours fait le vide avant la détermination de la poussée afin d'éliminer complètement l'air intercalé entre les fibres. Cette mesure a été généralement effectuée sur un gramme de poudre séchée à l'air, la teneur en eau hygroscopique étant toujours très faible. Les pesées ont été faites avec une balance donnant le $\frac{1}{10}$ de milligramme et la température du xylol a été relevé, immédiatement après la détermination de la poussée, afin d'en connaître la densité exacte. Dans ces conditions, la densité du minéral étudié est connue à quelques unités près de la troisième décimale.

3. — Mesure des indices.

Les indices de ces minéraux ne peuvent qu'exceptionnellement être mesurés à l'aide du réfractomètre à demi-boule de Klein. On ne peut d'ailleurs déterminer ainsi

qu'un indice moyen. J'ai obtenu de cette façon les indices de l'antigorite d'Antigorio et de la bowénite du Turkestan chinois. Pour tous les autres minéraux, j'ai appliqué la méthode d'immersion décrite par M. P. Gaubert (47). Comme il est extrêmement difficile, même aux plus forts grossissements, de distinguer les contours d'un cristal, l'observation de la frange de Becke est très pénible. Dans de telles conditions, la précision de la mesure est peu élevée ; elle est de l'ordre du centième. Les liquides les plus souvent utilisés sont :

	<i>n</i> à 15°
	—
aniline	1,5803
monobromobenzène	1,5600
nitrobenzène	1,5440
acétophénone	1,5306

Ces indices ont été mesurés, pour la raie jaune du sodium, à l'aide du réfractomètre de Klein.

4. — Mesure de la biréfringence

Cette mesure ne peut être effectuée avec précision ; en effet, dans une plage paraissant homogène, on peut mettre en évidence aux forts grossissements un enchevêtrement de fibres. Le phénomène observé correspond donc à un effet de moyenne ; aussi n'ai-je pas cherché à utiliser des méthodes précises. Dans une plaque mince d'un agrégat dont les cristaux ont une orientation quelconque, je me suis contentée de déterminer la biréfringence maximum.

5. — Mesure de l'épaisseur des fibres.

En utilisant un micromètre oculaire, étalonné à l'aide d'un micromètre objectif, j'ai déterminé la largeur moyenne des fibres d'un minéral du Saint-Gothard, dont l'étude complète sera faite au cours du présent travail. Elle ne dépasse pas 0,002 millimètre. Cette dimension maximum se retrouve dans tous les échantillons examinés. Ceci montre nettement que, dans une plaque mince dont l'épaisseur habituelle ne descend pas au-dessous de 0,025 millimètre, on observe toujours une superposition de nombreuses fibres.

6. — Méthodes d'analyses.

L'analyse de ces minéraux comporte essentiellement le dosage de l'eau, du silicium, du magnésium, du fer, accessoirement celui de l'aluminium, du titane, du calcium, et plus rarement celui du manganèse et du nickel. Toutes les attaques et les calcinations ont été faites dans des creusets ou capsules en platine, en prenant les précautions d'usage concernant le refroidissement de ces récipients après calcination des substances contenues (93).

Eau hygroscopique. — La prise d'essai est de un gramme environ. La teneur en eau hygroscopique est donnée par la perte de poids de cette prise d'essai maintenue dix à douze heures dans une étuve réglée à 110°.

Perte au feu. — La différence entre les poids de la même prise d'essai calcinée au Mecker et séchée à l'étuve détermine la perte au feu. La calcination se fait en creuset fermé et dure environ un quart d'heure. Toutefois, il convient d'effectuer des pesées de cinq en cinq minutes afin de déceler l'oxydation possible dans le cas d'échantillons

riches en fer ferreux. Il est préférable alors de chauffer dans un four électrique où l'oxydation est presque nulle.

Attaque au carbonate de sodium. — La poudre calcinée est ensuite fondue avec environ cinq grammes de carbonate de sodium anhydre dont la pureté est satisfaisante (la teneur en Si O² étant de 0,003 %). Ensuite la masse est mise en solution suivant les indications de L. Duparc (38) et après deux insolubilisations j'ai dosé la silice comme le recommande W. F. Hillebrand (64). Après calcination, la silice est chassée complètement par le mélange fluorhydrique et sulfurique. Le résidu, toujours faible (de l'ordre de 0,005 gramme), est constitué par de l'oxyde de titane ou de l'oxyde de fer. Ce résidu, fondu avec un peu de carbonate de sodium, repris ensuite par l'acide chlorhydrique, est joint à la liqueur contenant les bases.

Précipitation par l'ammoniaque. — Elle est faite à l'ébullition dans une liqueur de $\text{ph} = 7$ (virage au bleu du bromothymol) comme l'indiquent A. Kling et A. Lassieur (70). Le précipité formé renferme le fer et l'alumine, la liqueur contient le nickel, le calcium et le magnésium.

Dosage du fer et de l'alumine. — La séparation du fer total et de l'aluminium, et le dosage de ces deux métaux ont été effectués à l'aide du cupferron suivant le mode opératoire, indiqué par M. J. Orcel (93), qui permet de récupérer la silice non insolubilisée dans le traitement à l'acide chlorhydrique et conduit à la pesée de l'alumine.

Dosage colorimétrique du titane. — Dans quelques silicates, riches en fer, il existe de petites quantités de titane. Ce métal est alors dosé colorimétriquement dans le précipité d'oxyde de fer, après fusion avec le pyrosulfate de potassium. La comparaison colorimétrique est faite par rapport à une solution type préparée à partir du fluotitanate de potassium, comme l'indique W. F. Hillebrand (64). Dans

cette solution type, le dosage gravimétrique du titane est effectué, à froid, par le cupferron.

Dosage du nickel. — La plupart des échantillons étudiés ne contiennent pas de nickel en quantité dosable, à l'exception des variétés nouméites et garniérites que je décrirai plus loin. Dans ces minéraux, le dosage du nickel est réalisé par la diméthylglyoxime en suivant le mode opératoire de O. Brunck (10). Le précipité rouge, cristallin de nickel diméthylglyoxime est filtré sur un creuset de Gooch, lavé à l'eau chaude, essoré et séché entre 110° et 120°, jusqu'à poids constant.

La pesée donne le poids de l'oxime qu'il suffit de multiplier par le coefficient 25,79 pour obtenir la teneur en Ni O.

Dosage de la chaux. — Après élimination du nickel, on procède au dosage des métaux alcalino-terreux sans détruire la matière organique, la présence, dans la liqueur, de diméthylglyoxime en excès n'offrant aucun inconvénient. La précipitation du calcium est faite à chaud dans un milieu ammoniacal, par l'oxalate d'ammonium. On laisse déposer douze heures, puis on filtre. La précipitation est recommencée, après dissolution du premier précipité dans l'acide chlorhydrique. La quantité de calcium est toujours très faible dans les minéraux des serpentines.

Dosage de la magnésie. — Enfin la précipitation du magnésium se fait à l'ébullition, à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, en milieu nettement ammoniacal (virage au rouge de la phénolphtaléïne). Après douze heures de repos, on filtre le précipité qui est ensuite dissous, dans l'acide chlorhydrique, puis reformé par addition d'ammoniaque. Comme après la première précipitation, on laisse reposer, on filtre, puis on calcine jusqu'à poids constant. On pèse à l'état de pyrophosphate de magnésium.

Dosages sur des prises d'essais spéciales.

Dosage du fer ferreux. — Une prise d'essai d'un demi-gramme environ est attaquée par le mélange d'acides fluorhydrique et sulfurique, dans un courant de gaz carbonique. L'attaque dure environ une demi-heure. Le dosage est ensuite effectué suivant la méthode classique, en utilisant pour oxyder le fer ferreux une solution titrée de permanganate de potassium, dont chaque centimètre cube correspondait à une teneur de 0,005 gramme de FeO.

Dosage colorimétrique du manganèse. — Le manganèse n'existe en quantité dosable que dans les types ferrifères et même dans ce cas, la teneur en MnO est toujours inférieure à 0,50 %, aussi ai-je toujours dosé cet élément par la méthode colorimétrique de Proctor Smith.

7. — Contrôle des résultats analytiques.

J'ai toujours vérifié la pureté des précipités par des essais microchimiques suivant la méthode de Th. Behrens (3). D'autre part, j'ai tenu à contrôler souvent la teneur en magnésie par un dosage direct, en utilisant le citrate d'ammonium. Je n'insiste pas sur cette méthode de dosage particulièrement précieuse, qui a été appliquée aussi par M. J. Orcel, dans l'analyse des chlorites (93).

II. — DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS ÉTUDIÉS.

Les minéraux des serpentines ont reçu des noms très variés correspondant à des différences de facies. Ils peuvent

être groupés de la façon suivante en se basant sur ce caractère :

1. Variétés possédant une forme cristalline apparente (antigorite à clivage pseudo-cubique) ;
2. Variétés xyloïdes (métaxite, picrolite, schweitzérite, dermatine, picrosmine) ;
3. Variétés compactes ou finement grenues (bowénite, williamsite, deweylite) ;
4. Variétés schisteuses ;
5. Variétés asbestiformes (chrysotile).

Je décrirai successivement les propriétés physiques et chimiques des échantillons étudiés, en les classant dans cet ordre et en conservant les noms sous lesquels on les désigne habituellement, sans toutefois en reconnaître la légitimité. Pour alléger le texte je grouperai dans une série de tableaux les résultats de l'analyse chimique, les valeurs de la densité et les indices de réfraction.

1. — Variétés possédant une forme cristalline apparente.

Ce facies est rare ; il n'a été rencontré, jusqu'à présent, que dans deux localités.

Antigorite de Tilly Foster, New York (N° 95.164)(¹). — Elle est vert bleuâtre, possède un éclat gras et se clive suivant trois directions rectangulaires en donnant de petits cubes ou des parallélépipèdes de quelques millimètres de côté. Cet aspect pseudo-cubique disparaît dans certaines parties de l'échantillon où le minéral devient compact. En section mince, on voit que la partie pseudo-cubique est constituée par des fibres très fines assez biréfringentes, de même direction, alors que la partie compacte est formée de fibres, elles aussi extrêmement ténues, mais orientées sensible-

(1) Les numéros indiqués sont ceux de la collection du Muséum.

ment dans deux directions à 90° et dont la biréfringence est faible. Cette partie est sans doute celle à laquelle G. Friedel attribue une texture colloïdale (45). Le passage de l'une à l'autre se fait assez brusquement, et à ce niveau, dans le fond peu biréfringent, on observe des lamelles très fines disposées radialement autour d'un centre et simulant des sphérolites à croix noire indécise.

L'indice est sensiblement égal à 1,53. Le signe optique est négatif ainsi que l'ont observé G. Friedel et M. A. Lacroix.

En groupant, dans les résultats de l'analyse 1 (voir p. 49), d'une part les molécules Si O^2 , $\text{R}^2 \text{O}^3$ et d'autre part les molécules RO , on arrive à la formule globale généralement adoptée avec un léger excès d'eau. Ceci ne doit pas surprendre, la teneur en eau hygroscopique étant déjà très élevée (2,80 %). Dans les 13,50 % de perte au feu il doit encore exister de l'eau d'interposition fortement adsorbée qui se dégage au-dessus de 110° . Cette restriction faite, on voit que l'antigorite de Tilly Foster répond bien à la formule $\text{H}^4 \text{Mg}^3 \text{Si}^2 \text{O}^9$; résultat sensiblement en accord avec les analyses 2, 3, 4, 5, 6, exécutées antérieurement par d'autres auteurs.

Toutefois, celle de B. Weigand paraît correspondre à une partie très riche en fer qui diffère nettement du type le plus fréquent à Tilly Foster. Dans aucune de ces analyses, il n'a été tenu compte de l'eau hygroscopique.

Antigorite de Sterzing, Tyrol (N° 107.989). — Ce minéral porte le nom de talc dans la collection du Muséum. Il est blanc verdâtre et rappelle beaucoup celui de Moncaup (Haute-Garonne). Les lamelles cristallines à éclat gras, qui le constituent, forment un assemblage pseudo-cubique, mais le clivage est moins parfait que celui du minéral de Tilly Foster. Dans la plaque mince

examinée, taillée à peu près normalement à l'axe pseudo-ternaire de cet assemblage, ces lamelles se coupent sous un angle voisin de 60° ; elles ont une biréfringence faible, une extinction droite, et un allongement positif. Elles sont, pour la plupart, imprégnées de calcite. L'étude chimique de ce « talc », faite sur la poudre traitée par une solution d'acide chlorhydrique à 10 % puis lavée à l'eau distillée et séchée, analyse 7, conduit à la formule $2\text{H}^2\text{O}$, 2SiO_2 , $2,7\text{MgO}$.

Il n'a pas été possible de séparer l'eau hygroscopique avec certitude puisque le minéral a été séché à l'étuve après sa purification par l'acide chlorhydrique; il est à craindre, d'autre part, qu'il ne soit légèrement altéré par l'action de cet acide. Ce « talc » est donc bien une antigorite pseudocubique associée à de la calcite.

2. — Variétés xyloïdes.

Ce sont celles dans lesquelles les paquets de fibres disposés parallèlement ne présentent pas le caractère asbestiforme qui est celui des minéraux se débitant en fibres soyeuses. A ce deuxième groupe appartiennent la plupart des échantillons étudiés.

Métaxite de la Vallée de Comberousse près Saint-Colomban des Villards, Savoie (N° 136.214). (Provient du gisement de serpentine où a été trouvée la shéridanite alumineuse décrite par M. J. Orcel) (93). Ce minéral vert foncé a une teneur en eau hygroscopique nulle et la quantité de chaux négligeable. La formule du minéral calculée d'après l'analyse 8 (voir p. 49) est : $2,3\text{SiO}_2$, 3MgO , $2\text{H}_2\text{O}$.

Signalons que le massif de serpentine de Comberousse est entouré d'une auréole de talc, fait analogue à celui

indiqué dans d'autres gisements par différents auteurs, en particulier par H. Hess (61) et T. Durietz (40).

Métaxite de Moncaup, Haute-Garonne (N° 108.1207). — C'est un minéral dont la teinte varie du jaune au vert; il possède un éclat gras. En plaque mince, il est constitué par des fibres longues orientées parallèlement, s'éteignant suivant l'allongement et présente, par place, quelques fibres très courtes orientées perpendiculairement aux premières. Les longues fibres forment des veinules ramifiées entre lesquelles se placent de larges plages de calcite. Dans les échantillons examinés, je n'ai pas pu observer la belle structure zonaire signalée par M. A. Lacroix (72).

Avant d'être analysé, le minéral pulvérisé a été traité à froid par une solution d'acide chlorhydrique à 10 %, puis lavé à l'eau distillée, enfin séché à l'air. L'analyse chimique de la métaxite ainsi purifiée, analyse 9, ne révèle qu'une teneur en chaux de 0,50 %.

Métaxite de Reichenstein, Silésie (N° 47.22). — Minéral vert clair; il offre beaucoup d'analogies avec celui de Moncaup. Aux forts grossissements, il apparaît constitué par des fibres très fines, peu biréfringentes ($n_g = 1,56$ et $n_p = 1,55$), disposées à peu près parallèlement et s'éteignant suivant la direction de l'allongement. La masse du minéral est parcourue par un réseau de fines veinules de calcite, ce qui explique la teneur en chaux et la perte au feu trop élevée de mon analyse (10).

L'analyse 11 de Friederici a dû être exécutée sur une prise d'essai plus pure.

L'analyse 12, faite par R. B. Hare (59), est très différente des deux autres et ne doit pas se rapporter à un minéral mais à un mélange.

Picrolite du Val d'Aoste, Piémont (N° 56.167). — Ce picrolite, vert bleuâtre assez pâle, se sépare facilement en

aiguilles très dures. Sa texture est identique à celle de la métaxite ; cependant sa microstructure est différente ainsi que l'a montré M. A. Lacroix (72). Dans la plaque mince, en effet, on observe des plages constituées par des fibres sensiblement parallèles, tandis que d'autres sont rubanées et rappellent l'aspect de certaines algues. Même dans ces dernières on peut caractériser aux forts grossissements une structure fibreuse d'une extrême finesse. L'allongement des fibres peu biréfringentes est positif et l'extinction droite.

Sa composition chimique, analyse 13, conduit à la formule $2,1 \text{ H}_2\text{O}$, 3 MgO , 2 SiO_2 . Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par A. Cossa (29) pour une serpentine noble de la même localité.

Schweitzérite de Zermatt (N° 69.54). — Quoique de couleur blanc jaunâtre le facies de la schweitzérite rappelle beaucoup celui du picrolite d'Aoste. En plaque mince le minéral est nettement polychroïque et possède un relief faible. Entre nicols croisés on observe une structure spéciale. Ce minéral est constitué par un agrégat de fibres ayant l'aspect de feuilles allongées ; on y résout assez mal la structure fibreuse, sauf dans la nervure centrale, toujours moins biréfringente ; elle apparaît d'un gris bleuté sur un fond jaune. L'extinction est franche et se fait parallèlement à l'allongement qui est positif. Étant donné la finesse remarquable des fibres formant la schweitzérite, il n'est pas possible de déterminer ses indices avec précision ; seule, la valeur moyenne peut être donnée.

L'analyse chimique 17 (voir p. 51) vérifie d'une façon très satisfaisante la formule généralement adoptée pour les minéraux des serpentines. J'ai trouvé dans la bibliographie deux études de cette même schweitzérite, mais ces analyses 18, 19 ne comportent que le dosage des éléments essentiels (silice, magnésie, perte au feu et oxyde ferreux).

Mon analyse, un peu plus complète, indique en particulier la teneur en eau hygroscopique. Il est probable que le léger excès d'eau, mis en évidence par le calcul de la formule est dû à celle qui se dégage avant la température de départ de l'eau de constitution.

Antigorite de Zermatt (N° 74.136). — Elle a la forme d'une plaquette vert foncé dont la partie extérieure semble recouverte d'un vernis. La poussière produite sous l'action d'un choc du marteau est vert clair, et, comme le picrolite d'Aoste, ce minéral se sépare en aiguilles dures et piquantes.

Sa microstructure est simple et correspond à l'association de fibres parallèles coupées par quelques veinules plus biréfringentes formant avec les premières un angle de 30° environ. Toutes ces fibres ont un allongement positif et une extinction droite ; cependant par endroits, les déformations des paquets de fibres peuvent donner lieu à des extinctions onduleuses.

L'analyse 20 (voir p. 51) m'a donné des résultats voisins de ceux obtenus précédemment pour la schweitzérite. L'antigorite, toutefois, est beaucoup plus riche en fer. Il y a lieu de remarquer la parfaite concordance de ces résultats avec ceux publiés par Kobell ; mais il était intéressant de recommencer l'analyse de ce minéral en déterminant les teneurs en FeO , Fe^2O^3 et en eau hygroscopique.

Dermatine de Waldheim, Saxe (N° 64.110). — D'après J. D. Dana (31) la constitution de ce silicate est douteuse, certains le considèrent comme un mélange, d'autres comme une espèce voisine de la deweylite. De couleur vert brunâtre, ce minéral forme une croûte lustrée à facies faiblement xyloïde, sur une roche serpentineuse. Il était donc particulièrement intéressant de connaître sa composition). L'analyse 16 (voir p. 50), conduit à la formule : $2,1 \text{ SiO}^2$,

$2,8 \text{ MgO}$, $2 \text{ H}^2 \text{ O}$ qui se rapproche beaucoup de celle des minéraux des serpentines. Dès maintenant la véritable nature minéralogique de la dermatine ne paraît pas douteuse, c'est d'ailleurs ce que confirmera l'étude thermique.

Dans le gisement de serpentine de Blain (Loire-Inférieure) j'ai trouvé, en de nombreux points, des morceaux de roche serpentineuse présentant une croûte de texture identique à celle de la « dermatine ». J'ai toujours constaté que ces croûtes étaient en réalité de l'antigorite.

Un autre minéral auquel son faciès spécial avait fait attribuer une individualité était le *picrosmine*.

Ainsi que les échantillons précédemment étudiés, il a une couleur verte, jaune et plus rarement blanche ou grise. Il est constitué par des paquets de fibres dures groupées parallèlement comme dans la métaxite ou réunies en cônes allongés dont les axes se coupent sous des angles variables. Sa composition chimique n'était pas connue avec certitude. C. Hintze (65) lui donnait la formule $\text{H}^4 \text{ Mg}^4 \text{ Si}^3 \text{ O}^{16}$ et le rapprochait du talc ; J. D. Dana (31), tout en lui attribuant la composition $\text{H}^2 \text{ Mg}^2 \text{ Si}^2 \text{ O}^7$, doutait de son individualité. L'étude des échantillons de la collection du Muséum ne m'a permis de faire aucune différence entre le picrosmine et les minéraux des serpentines.

Picrosmine de Windisch Matrey, Tyrol (N° 56.2). — Il est vert lustré et présente la texture « xyloïde en cônes ». Sa densité 2,645 est légèrement plus élevée que celle des minéraux précédents. On peut attribuer ce fait à la grande compacité de l'échantillon. En effet, une variété compacte de serpentine : la bowénite, a pour densité 2,589, nombre voisin de celui trouvé pour le picrosmine (2,645). L'analyse chimique 22, de ce minéral, conduit à la formule : $2,3 \text{ SiO}_2$, 3 MgO , $2 \text{ H}_2\text{O}$ qui est bien celle d'une antigorite. Ces résultats concordent complètement avec ceux fournis par un

picrosmine de Pressnitz (N° 52.59 de la collection du Musée de Prague, que m'a aimablement communiqué M. Slavik). Cet échantillon est particulièrement intéressant puisqu'il provient du gisement qui a fourni le type. Vert légèrement brillant il a une texture xyloïde.

Sa composition chimique, analyse 23, peut être exactement représentée par la formule théorique de l'antigorite, contrairement aux indications fournies par les auteurs précédents. En effet, le picrosmine de Pressnitz a été, déjà en 1826, étudié par G. Magnus, analyse 24, et plus récemment A. Frenzel (44) a analysé un picrosmine de Zwickau, analyse 25. Ces deux analyses sont celles d'un talc, il y a donc lieu de se demander si les échantillons étudiés ne contenaient pas une forte proportion de ce minéral ou si il s'est glissé une erreur dans ces analyses. Cette dernière hypothèse paraît très peu vraisemblable, car si la séparation de la silice et de la magnésie peut être entachée d'erreur, il n'en est pas de même de la détermination de la perte au feu, surtout dans l'analyse de Magnus où la teneur en fer est faible. Il est au contraire très possible d'admettre la possibilité d'un mélange avec le talc, car j'ai constaté qu'un autre « picrosmine » (N° 56.202 de Windisch-Matrey, Tyrol) est en majeure partie formé par ce silicate.

D'autre part, comme je l'indiquerai, j'ai étudié d'autres « picrosmine » appartenant soit à la collection du Muséum, soit à celle de l'Université de Prague, et tous sont en réalité des antigorites typiques. Dans ces conditions, je pense qu'il n'y a pas lieu de conserver ce terme dans la nomenclature.

En dehors de ces variétés à forme cristalline apparente et de celles à facies xyloïde, il existe encore des types compacts.

3. — Variétés compactes.

Celles-ci sont peu nombreuses et peuvent être ramenées à trois types : bowénite, williamsite et deweylite.

Bowénite du Turkestan chinois (N° 136.251). — Elle a été donnée à la collection du Muséum par M. P. Teilhard de Chardin et provient de Khotan, près de Yarkend, gisement non encore signalé. C'est un minéral blanc verdâtre, translucide, à texture compacte qui rappelle le jade, sans en avoir la dureté. L'examen microscopique montre que, malgré son aspect, il est constitué par un agrégat homogène d'éléments lamellaires, peu biréfringents, disposés en rosettes plus ou moins régulières. Aux forts grossissements, on constate que ces éléments sont eux-mêmes formés de fibres submicroscopiques dont on peut apprécier l'extrême finesse sur le bord des préparations.

Étant donné l'enchevêtrement de ces éléments fibreux, on ne peut mesurer qu'un indice approché. Par immersion, on trouve $n = 1,55$; à l'aide du réfractomètre de Klein, on détermine $n = 1,545$. La bowénite étant, comme le « picros-mine » relativement compacte, la densité de ces deux variétés est voisine, ainsi que je l'ai fait remarquer plus haut. Une bowénite d'Afghanistan a fourni à C. A. Mac Mahon (84) une densité très voisine : 2,59. L'étude chimique, analyse 26, montre que le minéral du Turkestan chinois est très pur tandis que les autres bowénites de Rhode Island sont souvent souillées de carbonate.

Les résultats de mon analyse concordent parfaitement avec ceux de l'analyse 27 de G. P. Prior, faite sur un échantillon de Bhéra dans le district de Shahpur (Afghanistan). Quant à celle de A. Bukowsky (analyse 28) (12) elle est certainement entachée d'erreur. La rareté des gise-

ments de bowénite rend d'autant plus intéressante la découverte de ce minéral à Khotan.

Williamsite du Texas, Pensylvanie (N° 98.523). — C'est une variété vert pomme fortement translucide, peu biréfringente. A. Des Cloizeaux (34) la considérait même comme isotrope et donnait $n = 1,56$. Les indices sont en effet extrêmement voisins : $n_g = 1,563$, $n_p = 1,561$. En plaque mince la williamsite présente de grandes analogies avec la bowénite. Les fibres submicroscopiques sont groupées en éventails associés irrégulièrement. On voit également dans la préparation, de petites plages de calcite, mais la quantité de carbonate étant faible (analyse 29) je n'ai pas jugé utile de l'éliminer afin d'éviter une attaque du silicate par l'acide.

Si malgré la petite quantité de chaux, due à la présence du carbonate, on calcule la formule de cette williamsite on obtient celle des minéraux des serpentines $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$.

Il n'existe, à ma connaissance, que deux analyses de ce minéral celles de Smith et Brush (analyse 30) et de A. Lindner (analyse 31). La première, quoique incomplète, est en accord avec mes résultats.

Deweylite du Sud de la Nouvelle-Calédonie (N° 101.755). — Enfin un autre minéral compact mais légèrement différent est la deweylite. Elle a d'abord été considérée comme amorphe par A. Des Cloizeaux (34) puis M. A. Lacroix (72) en fait une espèce distincte, lui donne la formule : $Mg^4 Si^3 O^{10} \cdot 6 H^2 O$, mais la rapproche du groupe de l'antigorite ; enfin, A. Schrauf (103) l'envisage comme un produit de l'altération des serpentines.

D'autre part l'étude que j'ai faite, de la deweylite de la Nouvelle-Calédonie, me permet de la considérer comme une variété d'antigorite. Le minéral étudié est translucide, possède un éclat gras et a l'aspect de la gomme arabique. Il

est jaunâtre à jaune verdâtre et se présente en masse fragile.

L'étude microscopique révèle une forte proportion de substance peu biréfringente montrant des phénomènes de tensions analogues à ceux observés dans les verres. Cette masse n'est cependant pas complètement amorphe car on y aperçoit un réseau de fibres très fines orientées suivant deux directions d'allongement formant entre elles un angle de 90°. On constate en outre la présence de veinules d'un minéral fibreux, bien cristallisé, de biréfringence faible, et présentant la structure calcédonieuse signalée par M. A. Lacroix (72) comme caractéristique de la deweylite.

La détermination des indices fournit une valeur moyenne, la mesure rigoureuse étant rendue très difficile par la finesse des fibres et le manque de netteté des extinctions.

L'étude chimique (analyse 32) de ce minéral m'a donné des résultats assez voisins de ceux obtenus par M. Stoyanoff (72) : Si O² 44,56 ; FeO 0,50 ; MgO 36,30 ; H²O 18,50. Toutefois mon analyse, où l'eau hygroscopique a été dosée séparément, permet de constater qu'une forte proportion d'eau n'entre pas dans la constitution du minéral. D'après ces données, on écrit la formule 1,9 SiO², 2,7 MgO, 2 H²O, peu éloignée de celle des antigorites. D'autre part, on verra dans les chapitres suivants que l'étude des propriétés physico-chimiques du minéral confirme ce résultat et permet de conclure que la deweylite est formée par un constituant bien cristallisé, ayant les propriétés physiques et chimiques des antigorites, mêlé à un produit colloïdal de composition très voisine.

4. — Variétés schisteuses.

Les variétés schisteuses sont plus rares que les formes compactes. Parmi les nombreux échantillons de la collection j'ai trouvé un seul type schisteux :

L'antigorite du Val d'Antigorio, Piémont (N° 108.1033

— (C'est de cette localité que ce silicate tire son nom). Le minéral d'Antigorio se présente en lames coupantes, vertes, dont la poudre est blanc verdâtre.

L'indice n_m est égal à 1,574 pour la lumière rouge d'après A. Des Cloizeaux (34), à 1,570 pour le jaune d'après M. A. Lacroix et A. Michel Lévy (72).

Pour la raie D du sodium, j'ai obtenu $n = 1,569$, indice plus élevé que celui de la plupart des minéraux des serpentines.

Son signe optique est négatif et sa structure fibreuse n'apparaît qu'au microscope et à de forts grossissements. On n'observe alors aucune plage uniforme mais seulement un réseau de fibres extrêmement ténues polarisant faiblement. Ces fibres, formant un véritable tissu, sont orientées dans deux directions d'allongement dont l'angle est voisin de 90° .

L'analyse chimique 33, de la poudre qui a servi à la détermination du poids spécifique, m'a donné des résultats qui correspondent à la formule $2,2 \text{ SiO}_2, 3 \text{ MgO}, 2 \text{ H}_2\text{O}$. On connaissait déjà la composition de cette antigorite d'après les analyses de Brush (34) et de S. Hillebrand (analyse 35). Ces deux analyses se rapprochent beaucoup de mes résultats, cependant il était intéressant de vérifier la teneur en Fe_2O_3 , de doser TiO_2 et de séparer l'eau hygroscopique de la perte au feu. Toutes mettent en évidence une quantité notable de fer, fait qui est probablement en relation avec la valeur élevée de l'indice. Il me reste maintenant à examiner un dernier groupe très important, celui du chrysotile.

5. — Variétés asbestiformes.

Le chrysotile se présente en veines plus ou moins larges dans les serpentines. Ce minéral est formé par des fibres

très fines, flexibles, soyeusés, faciles à séparer. Il est considéré par A. Hall (54) comme se formant dans la dernière phase de la serpentinitisation. Les beaux échantillons de chrysotile provenant de gisements français sont rares ; toutefois on peut citer les suivants :

Chrysotile de Médous à deux kilomètres de Bagnères de Bigorre, Hautes-Pyrénées (N° 87.265). — Il se trouve dans les blocs de lherzolite serpentinisée d'une brèche calcaire. C'est un minéral vert, qui par places, prend une coloration jaune d'or et se rapproche de celui décrit par G. Muntéanu-Murgoci (90).

En sections minces, on voit que l'antigorite est associée à de la calcite et à des veinules de chrysotile très déformé coloré en jaune. Cette coloration devient particulièrement intense au voisinage des grains de minerai (magnétite) ; elle est donc vraisemblablement due à une imprégnation du chrysotile par un hydrate ferrique. Ce minéral est extrêmement biréfringent, même dans les parties à peine jaunâtres, propriété extraordinaire pour un minéral du groupe de la serpentine. D'autre part, contrairement à la définition même du chrysotile, l'échantillon de Médous est constitué par des fibres dures et cassantes, qui font, avec l'acide chlorhydrique froid et dilué à 10 %, une effervescence vive. Il y a donc lieu de penser que ce minéral est imprégné non seulement d'hydrate de fer mais encore de calcite, ce qui explique la teneur très élevée en chaux de l'analyse de H. Goguel (51) et probablement sa forte biréfringence. Après lavage à l'acide chlorhydrique le minéral devient souple et ses indices sont : $n_g = 1,54$, $n_p = 1,53$.

Les résultats de l'analyse chimique 36, faite sur le minéral purifié, montrent que la teneur en chaux est insignifiante et que le chrysotile de Médous correspond à la formule $2,2 \text{ Si O}^2$, $2,9 \text{ Mg O}$, $2 \text{ H}^2\text{O}$, très voisine de $\text{H}^4 \text{ Mg}^3 \text{ Si}^2 \text{ O}^9$.

Chrysotile d'Ambindavato, Madagascar (N° 131.198). — Minéral gris sombre, formé de fibres soyeuses ayant environ 2 cm. de longueur, se trouve en veines parallèles dans une serpentine. La composition du minéral malgache (analyse 37) correspond à la formule $2\text{SiO}_2, 2,7\text{MgO}, 2\text{H}_2\text{O}$.

Chrysotile de Montville, New Jersey (N° 74.43). — Le gisement de Montville fournit peut-être les échantillons les plus appréciés des collectionneurs. Ce chrysotile est en effet d'un blanc jaunâtre, semi-transparent, extrêmement soyeux et souple. Il forme des veines dans une belle serpentine jaune d'huile, décrite par G. P. Merrill (87).

Sa densité est de 2,498, très voisine de celle du chrysotile de Fernandovo ($d = 2,51$) (71).

L'étude chimique (analyse 38) m'a donné des résultats en accord avec les analyses publiées précédemment par Réakirt (analyse 39), Clarke et Schneider (analyse 40) et S. Hillebrand (analyse 41). Toutefois, j'ai été seule à doser séparément l'eau hygroscopique et la perte au feu. Cette détermination est cependant importante, car, la formule déduite de mon analyse $\text{H}_2\text{O}, 1,7\text{SiO}_2, 2,7\text{MgO}$ montre nettement que même l'eau qui se dégage au-dessus de 110° ne doit pas être entièrement de l'eau de constitution.

Il est possible en effet que ce minéral retienne entre ses fibres une certaine quantité d'eau qui se dégage difficilement mais qui n'entre cependant pas dans la constitution de l'édifice cristallin. Ce point sera d'ailleurs précisé dans le chapitre suivant où j'étudierai de plus près la déshydratation du minéral de Montville.

Chrysotile de la Province de Québec, Canada (Gi. 221). — Cet échantillon particulièrement intéressant ne porte malheureusement pas d'indication précise de gisement.

Il est vert, translucide, se sépare très facilement en fibres souples, mais moins soyeuses que celles du chrysotile de

Montville. Ces fibres d'environ cinq centimètres de longueur n'ont pas un aspect uniforme. En certains endroits le minéral devient vert clair, presque blanc, tandis que dans d'autres parties il est sensiblement noir.

Les indices, mesurés sur des fibres de couleurs différentes, ont cependant la même valeur 1,55 pour n_g et 1,54 pour n_p . Ce sont d'ailleurs les indices du chrysotile de Montville. L'examen microscopique d'une section mince, taillée dans la partie vert clair, montre bien les fibres de chrysotile parallèles, peu biréfringentes mais, entre elles, on observe des cristaux très biréfringents d'un autre minéral. En lumière naturelle ce minéral a un relief un peu supérieur à celui du chrysotile et son extinction est droite ; cependant, étant donné la finesse des inclusions, il n'est pas possible de déterminer son signe optique. On peut rapprocher ce minéral de la brucite observée par H. Berman et C. D. West (5) entre les fibres d'un chrysotile d'Asbestos, Québec. La partie sombre contient un minéral opaque très magnétique.

L'analyse chimique, faite sur chacune de ces parties, conduit à des résultats nettement différents :

partie vert foncé (analyse 42).

partie vert clair (analyse 43).

Aucune de ces deux analyses ne peut être interprétée par la formule $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$. Dans l'analyse 42 on remarque une teneur très élevée en oxyde de fer et dans la suivante un excès important d'eau et de magnésie. La première est celle d'un chrysotile associé à de la magnétite ⁽¹⁾ et la seconde celle d'un mélange de chrysotile et de brucite. L'analyse thermique différentielle permettra d'ailleurs de confirmer ces hypothèses.

(1) Une telle association a déjà été signalée par F. Cirkel.

6. — Serpentes.

Il est intéressant enfin de comparer la composition chimique des veines fibreuses de chrysotile avec celle de la serpentine au milieu de laquelle on les rencontre. La *serpentine d'Ambindavato* (*Madagascar*) convient particulièrement bien à cette étude. Elle se compose de deux parties : l'une vert sombre, compacte, s'arrêtant à la veine de chrysotile, l'autre jaune très légèrement verdâtre, moins compacte, s'effritant entre les doigts. L'étude des sections minces montre que la partie foncée est entièrement formée par une antigorite à structure maillée avec quelques grains de minéral.

L'analyse chimique a été faite sur chacune de ces parties :
partie vert foncé (analyse 44).

partie vert clair (analyse 45).

Ces deux analyses montrent nettement que le constituant essentiel de cette roche est un silicate magnésien hydraté de constitution identique à celle des minéraux exceptionnels que l'on y rencontre. Remarquons d'autre part, que la partie de couleur plus claire qui apparemment est altérée, est plus riche en eau hygroscopique, en silice, et plus pauvre en magnésie que la partie foncée. Il faut donc admettre qu'une fraction de l'antigorite de cette roche a été décomposée, ce qui est d'ailleurs en accord avec la plus petite teneur en eau de constitution de cette zone plus claire.

De cette étude d'ensemble, il ressort nettement qu'il n'y a pas lieu de considérer que l'antigorite des roches est de composition différente de celle des minéraux des serpentes ; d'autre part, la composition chimique des minéraux des différents facies est la même et répond à la formule globale $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$.

Pour vérifier encore l'identité de tous ces minéraux, j'ai repris l'étude de la décomposition des serpentines qui avait déjà été faite par différents auteurs. F. W. Clarke, E. A. Schneider (27) utilisaient l'acide chlorhydrique gazeux et sec, A. Terreil (108) employait l'acide chlorhydrique bouillant, W. F. Clarke et G. Steiger (28) se sont servis d'une solution de chlorure d'ammonium, enfin R. Müller (89) a fait l'attaque avec de l'eau chargée de gaz carbonique.

Attaque par l'eau.

Il était intéressant de vérifier si l'eau pure n'avait pas déjà une action sensible sur ces minéraux. J'ai opéré de la façon suivante :

Les échantillons sont pulvérisés, passés au tamis 60 et placés dans des béchers de 600^{cc} en verre pyrex. Dans chaque bécher on ajoute environ 400^{cc} d'eau distillée puis pendant 8 mois, ils sont maintenus sur une plaque chauffante portée à 100°. De cette façon, l'eau des béchers n'atteint jamais l'ébullition, toutefois pour éviter une évaporation trop intense, j'ai placé un verre de montre sur chaque récipient et j'ai compensé l'évaporation en ajoutant, environ tous les quinze jours, de l'eau distillée pour ramener le volume à 400^{cc}. A chaque fois, la poudre a été remuée avec un agitateur. Au bout de 240 jours, j'ai filtré le liquide et j'ai soigneusement lavé la partie solide avec de l'eau distillée. Le filtrat et les eaux de lavage ont été réunis, évaporés à petit volume, puis analysés.

Ces essais d'attaque ont porté sur six échantillons différents : schweitzérite et antigorite de Zermatt, chrysotile de Thetford, bowénite du Turkestan chinois, roche serpentineuse d'Ambindavato, partie vert clair et partie vert foncé.

Les résultats de ces essais sont groupés dans le tableau suivant :

SUBSTANCES	Schweitzérite Zermatt	Antigorite Zermatt	Chrysotile Thetford	Bowénite Turkestan Chinois	Ambindavato	
					Serpentine V. F.	Serpentine V. C.
Prise d'essai	2 gr.	8 gr.	10 gr.	22 gr.	25 gr.	21 gr.
Durée	8 mois	8 mois	8 mois	8 mois	8 mois	8 mois
Si O ² en mgr. dans la li- queur par gr. de sub- stance.	0,72 12	0,16 2,6	0,24 4	0,07 1	0,07 1	0,1 1,6
Mg O dans la la liqueur par gr. de substance.	1,15 28	0,21 5,2	0,12 3	0,10 2	0,10 2	0,47 4,2
Si O ² Mg O (en mo- lécules).	0,42	0,50	1,3	0,50	0,50	0,38

L'attaque est beaucoup moins forte avec l'eau qu'avec une solution saline mais elle est très nette. D'autre part, le comportement d'une roche est identique à celui d'un minéral. La bowénite et la serpentine vert foncé d'Ambindavato, ont été attaqués de la même façon. Enfin, les échantillons sont d'autant plus attaqués qu'ils sont moins compacts : l'antigorite de Zermatt et la schweitzérite sont plus attaquées que la bowénite ; la roche friable l'est plus que la roche très compacte. Il y a lieu de remarquer aussi qu'à l'exception du chrysotile de Thetford, les autres minéraux ont perdu une quantité de substance telle que le rapport

moléculaire $\frac{\text{Si O}^2}{\text{Mg O}}$, soit un nombre constant et sensiblement égal à 0,50. Autrement dit, les minéraux et les roches considérés ont perdu une partie de leur silice et de leur magnésie dans la proportion où ces éléments se trouvent dans l'olivine (SiO^2 , 2 MgO). Un autre fait intéressant résulte de ces expériences : après un tel traitement la couleur de tous ces minéraux est très atténuée et les poudres, après filtration et lavage, sont blanches ou très légèrement jaunâtres ou verdâtres. Cette observation explique en particulier la teinte verdâtre plus claire de la serpentine d'Ambindavato altérée et d'une façon générale, la couleur pâle de toutes les serpentines exposées à l'action des eaux superficielles.

L'exposé précédent permet donc de conclure avec certitude que les divers facies spéciaux présentés par les minéraux des serpentines ne correspondent à aucune différence de composition et qu'il y a également identité chimique complète entre ces minéraux et les constituants des serpentines elles-mêmes, au milieu desquelles on les trouve.

Les minéraux comme les roches sont attaquables avec une relative facilité, même par l'eau distillée ; ils libèrent dans ce cas deux molécules de magnésie pour une de silice, et leur couleur subit un affaiblissement très net.

Propriétés physiques.

Entre les propriétés physiques de ces divers minéraux, on ne peut saisir aucune différence notoire. Les indices sont voisins et leurs variations peuvent être expliquées par celles des teneurs en fer. Les densités sont les mêmes si on tient compte de la grande diversité de textures. La différence que l'on avait cru pouvoir établir sur la déter-

mination du signe optique n'est qu'apparente, car les fibres extrêmement fines et enchevêtrées qui constituent ces substances produisent, par leur superposition dans l'épaisseur de la section mince, des effets de moyenne présentant une certaine régularité. J'ai remarqué, à ce point de vue, que dans tous les minéraux de signe optique positif tels que le chrysotile, la métaxite, le picrolite, les fibres sont toutes disposées de la même façon, tandis que dans les minéraux de signe optique apparent négatif comme l'antigorite de Tilly Foster, les fibres sont orientées dans deux directions sensiblement rectangulaires à la manière d'un tissu.

A l'appui de cette hypothèse, je rappellerai que, dans un travail récent, H. Berman et C. D. West (5) démontrent que la valeur de $2V$ est une fonction de l'angle formé par les fibres entre elles.

Il semble donc qu'on ne puisse considérer ce signe optique apparent comme un véritable caractère spécifique, puisqu'il dépend uniquement de l'orientation des fibres et non des fibres elles-mêmes.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
SiO ²	39,43	42,28	41,80	44,87	39,38	44,98	44,73	43
Al ² O ³	"	0,86	0,95	{ 2,80 }	1,56	"	3,84	0,62
Fe ² O ³	2,49	"	"	"	"	"	1,16	3,03
FeO	1,74	2,57	4,65	"	13,87	2,87	3,58	2,45
MnO	"	"	"	"	"	"	tr	"
CaO	0,50	1,35	"	"	"	"	0,73	0,69
MgO	40,58	40,29	38,55	42,40	32,25	44,38	35,79	38,74
TiO	"	"	"	"	"	"	"	"
K ² O	"	0,48	"	"	"	"	"	"
Na ² O	"	"	"	"	0,17	"	"	"
H ² O	2,80 43,19	{ 12,52 }	{ 13,95 }	{ 13,50 }	{ 11,90 }	{ 13,78 }	{ 12,93 }	0,01 11,97
	400,43	100,35	99,90	400,57	99,13	400,01	99,76	400,51
<i>n_g</i>	1,530							
<i>n_p</i>	2,368							
<i>d</i>								

1. — Antigorite Tilly Foster, S. Caillère.
2. — " " E. S. Breidenbaugh, *Amer. Journ. of Sc.*; t. 6, 1873, p. 20.
3. — " " Hawes dans J. B. Dana, *Amer. Journ. of Sc.*; t. 8, 1874, p. 37.
4. — " " O. D. Allen dans J. B. Dana, *Amer. Journ. of Sc.*; t. 8, 1874, p. 37.
5. — " " G. Weigand, *Tsch. Min. Mitt.*; 1875, p. 199.
6. — " " G. Friedel, *Bull. Soc. Fr. Min.*; t. 14, 1891, p. 125.
7. — Antigorite, Sterzing, Tyrol, S. Caillère.
8. — Métaxite Comberousse, S. Caillère.

	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
SiO ₂	40,82	39,78	42,73	43,87	40,60	40,86	40,90	42,53
Al ₂ O ₃	2,07	0,47	tr	23,44	0,30	tr	tr	0,35
Fe ₂ O ₃	6,10	2,61	"	5,37	3,63	"	"	3,80
Cr ₂ O ₃	"	"	"	"	"	0,02	0,03	"
FeO	4,00	0,53	2,79	"	0,54	4,59	4,70	0,72
MnO	"	"	"	"	"	"	"	"
NiO	"	"	"	"	"	0,09	0,08	"
CaO	0,50	6,77	0,40	1,24	0,79	0,03	0,02	0,98
MgO	35,88	35,73	40,37	15,18	39,79	41,37	41,31	38,44
TiO ₂	"	"	"	"	"	"	"	"
K ₂ O	"	"	"	"	"	"	"	"
Na ₂ O	"	"	4,52	"	"	"	"	"
H ₂ O —	0,35	0,17	"	"	0,98	"	"	0,86
+	13,26	14,21	12,47	10,86	13,05	13,08	13,40	12,50
	99,98	100,27	99,98	99,96	99,68	100,04	100,44	100,18
<i>n_g</i>	1,56	1,56			1,55			
<i>n_p</i>	1,55	1,55			1,54			

9. — Métaxite Moncaup, S. Caillère.
 10. — Métaxite Reichenstein, S. Caillère.
 11. — " " Friederici dans Bauer *N. Jb. Min.*; 1882, p. 163.
 12. — " " R. B. Hare.
 13. — Picrolite Val d'Aoste, S. Caillère.
 14. — " " } A. Cossa, *Acc. Lincei Rend.*; Costi, 1878.
 15. — " " }
 16. — Dermatine Waldheim, S. Caillère.

	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.
SiO ₂	40,70	42,27	41,66	42,75	42,73	42,86	44,55	54,89
Al ₂ O ₃	0,22	"	"	1,95	1,33	1,48	0,63	0,79
Fe ₂ O ₃	1,57	"	"	2,49	{	3,96	3,35	1,40
FeO	0,34	1,88	3,84	3,07	{ 7,20	2,03	0,52	"
MnO	"	"	"	"	"	"	"	0,42
CaO	0,82	"	"	0,63	"	0,46	0,43	"
MgO	42,05	43,40	40,50	37,32	36,51	37,57	40,77	33,55
TiO ₂	"	"	"	"	"	tr.	"	"
H ₂ O — +	0,38	{ 43,59	43,49	0,39	{ 41,66	0,34	0,48	"
indosé	13,63	"	0,63	44,88	"	44,56	12,33	7,30
	"	"	"	"	"	"	"	"
n_g	99,68	100,84	99,82	100,48	99,43	100,23	99,76	98,35
n_p						1,57		
d						2,645		

17. — Schweitzerite Zermatt, S. Caillère.
 18. — " " V. Merz, *Naturf. Gesells.*; Zurich, 1861.
 19. — " " A. Lindner, *Zeil. f. Krist.*; t. 25, 1896, p. 590.
 20. — Antigorite Zermatt, S. Caillère.
 21. — " Kobell, *Sitzber. Bayr. Ak.*; Munchen, 1874.
 22. — Picrosmine Windisch-Matrey, S. Caillère.
 23. — Picrosmine Pressnitz, S. Caillère.
 24. — " G. Magnus.

	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.
SiO ₂	60,45	43,60	44,73	40,06	41,96	42,10	45,01	43,16
Al ₂ O ₃	0,50	0,03	0,32	2,36	0,59	"	0,30	0,47
Fe ₂ O ₃	"	"	"	"	0,93	2,43	{ 7,28	0,41
FeO	6,34	0,40	0,33	1,99	0,54	"	"	0,10
NiO	"	"	"	"	tr.	0,45	0,91	"
CaO	1,25	0,55	tr.	"	1,15	"	"	0,20
MgO	26,01	42,58	42,64	40,49	42,01	41,50	34,62	37,69
TiO ₂	"	"	"	"	tr.	"	"	"
H ₂ O	{ 5,05	0,90	{ 12,21	1,78	0,17	{ 12,70	{ 11,70	4,94
— +		12,02		14,53	12,30			13,58
n _g	99,60	100,08	100,23	101,21	99,65	99,18	99,82	100,55
n _p		1,55			1,563			{ 1,53
d		2,589			1,561			

25. — Picrosmine Zwickau, A. Frenzel.
 26. — Bowénite Turkestan chinois, S. Caillère.
 27. — Afghanistan, G. T. Prior dans Mac Mahon, *Mining Mag.*; t. 9, 1890, p. 187.
 28. — Kuttlenberg, A. Bukowsky, *Zeit. f. Krist.*; t. 45, 1908, p. 403.
 29. — Williamsite Texas, S. Caillère.
 30. — " Smith et Brush.
 31. — " A. Lindner, *Zeit. f. Krist.*; t. 25, 1896, p. 590.
 32. — Deweylite Nouvelle-Calédonie, S. Caillère.

	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.	40.
SiO ₂	40,75	41,58	41,40	41,22	43,30	41,07	42,62	42,42
Al ₂ O ₃	2,51	2,60	1,45	0,90	0,35	"	0,55	0,63
Fe ₂ O ₃	3,47	"	3,06	1,95	2,62	"	"	0,62
FeO	3,12	7,22	3,84	3,60	0,40	1,05	0,27	"
NiO	"	"	"	"	"	"	"	0,23
CaO	1,62	"	0,72	1,27	0,72	0,58	"	tr.
MnO	"	"	"	"	tr.	"	"	"
MgO	36,94	36,80	37,01	34,52	38,58	42,33	42,67	41,01
TiO ₂	0,06	"	"	"	tr.	"	"	"
H ₂ O	0,34	{ 12,67	{ 13,27	4,70	1,66	0,77	{ 14,25	{ 15,64
	11,74			11,55	12,91	13,92		
	100,52	100,87	100,75	99,71	100,54	99,72	100,36	100,55
n_g	{ 1,569			1,54	1,54	1,55		
n_p				1,53	1,53	1,54		
d	2,550					2,498		

33. — Antigorite Antigorio, S. Caillère.
 34. — " " Brush, *Amer. Journ. Sc.*; t. 21, 1857, p. 128.
 35. — " " S. Hillebrand, *Sitz. Ber. d. Akad. Wiss.*; 1906, p. 700.
 36. — Chrysotile Médous, S. Caillère.
 37. — Chrysotile Ambindavalo, S. Caillère.
 38. — Chrysotile Montville, S. Caillère.
 39. — " " Réakirt, *Amer. Journ.*; t. 18, 1854, p. 410.
 40. — " " F. W. Clarke, T. A. Schneider, *Zeit. f. Krist.*; t. 18, 1891, p. 396.

	41.	42.	43.	44.	45.
SiO ₂	42,72	32,45	28,76	39,72	44,85
Al ₂ O ₃	0,20	2,57	0,88	3,06	4,31
Fe ₂ O ₃	0,68	17,61	5,37	6,20	9,83
FeO	„	1,30	2,02	0,94	0,51
CaO	„	0,40	0,41	0,63	0,75
MnO	„	„	„	tr	tr
MgO	43,38	33,59	44,34	34,44	26,70
H ₂ O	{ 43,40	0,83	0,88	4,54	5,78
		41,34	16,86	13,28	10,61
	100,38	100,09	99,52	99,75	100,34
n_g		1,55	1,55		
n_p		1,54	1,54		

41. — Chrysotile Montville, S. Hillebrand, Sitz. Ber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien, 1906.
 42. — Chrysotile Québec, S. Caillière.
 43. — „ „ S. Caillière.
 44. — Serpentine Ambindavato, S. Caillière.
 45. — „ „ S. Caillière.

CHAPITRE III

ÉTUDE THERMIQUE

Les propriétés physiques et chimiques passées en revue plus haut ne permettant pas de distinguer avec netteté plusieurs espèces parmi les minéraux des serpentines, j'ai pensé faire appel à d'autres méthodes d'investigation pour obtenir de nouveaux caractères spécifiques. J'ai tenté de saisir une différence entre ces silicates en précisant, tout d'abord, leur comportement sous l'action de la chaleur. Cette étude comprend deux parties : l'analyse thermique différentielle et la déshydratation dans le vide.

I.— ANALYSE THERMIQUE DIFFÉRENTIELLE.

Cette analyse est basée sur la possibilité de déceler des effets thermiques extrêmement faibles à l'aide de la méthode différentielle réalisée par le galvanomètre double de Saladin-Le Chatelier, dont l'emploi est devenu classique. (101). Dans ce dispositif, le minéral étudié est chauffé en même temps qu'une substance étalon ne subissant aucune transformation sous l'action de la chaleur. Un couple différentiel (platine, platine-rhodié) relié à un galvanomètre à cadre mobile permet de noter la différence de tempéra-

ture entre le minéral et la substance témoin. Un autre couple relié à un autre galvanomètre fournit, à tous moments, la température de ce corps témoin, c'est-à-dire celle du minéral étudié, si les récipients renfermant les deux substances sont placés côte à côte dans une même région isotherme d'un four.

Les récipients utilisés sont deux creusets en silice fondue de 6 m/m de diamètre intérieur et de 3 c/m de hauteur. On a choisi comme substance témoin l'alumine calcinée dont la chaleur spécifique est voisine de celle des silicates étudiés. Les deux creusets sont disposés dans un tube de silice, lequel est plongé dans un four électrique à résistance de platine dont on élève très graduellement la température à l'aide d'un rhéostat à variation automatique. Un ingénieux dispositif permet de combiner les indications des deux galvanomètres et de les enregistrer sur une plaque photographique. J'indiquerai comment on doit interpréter les courbes obtenues : si la substance étudiée n'est le siège d'aucun phénomène thermique au cours de son échauffement, sa température et celle du témoin sont toujours les mêmes : le couple différentiel ne fournit aucun courant et la courbe obtenue est une ligne presque horizontale. Si la substance étudiée est le siège d'un phénomène thermique à une température déterminée, le couple différentiel est parcouru par un courant dont l'intensité est d'autant plus forte que ce phénomène est plus intense ; le galvanomètre correspondant fonctionne et la ligne obtenue présente en un point correspondant à cette température une inflexion brusque plus ou moins marquée, dirigée vers le haut ou vers le bas suivant le sens du phénomène thermique (absorption ou dégagement de chaleur).

L'appareil est réglé de telle façon qu'un phénomène endothermique (absorption de chaleur) donne lieu à un cro-

chet dirigé vers le bas et qu'un phénomène exothermique (dégagement de chaleur) donne lieu à un crochet dirigé vers le haut.

1. — Analyse thermique différentielle des minéraux des serpentines.

Les nombreuses courbes d'analyses thermiques faites avec ces minéraux appartiennent à deux types différents : le premier dont la courbe présente un crochet endothermique, dû au départ de l'eau, vers 650° est suivi presque immédiatement par une inflexion exothermique entre 750° et 825°. (14) Je propose de donner à ces minéraux le nom d'angorites α . Le second met seulement en évidence le phénomène endothermique vers 650° et caractérise les antigorites β .

A. — MINÉRAUX APPARTENANT AU PREMIER GROUPE : ANTIGORITES α .

A ce groupe appartiennent un certain nombre de minéraux étudiés précédemment :

La *métaxite de Moncaup, Haute-Garonne* (N° 108.120), celle de *Reichenstein, Silésie* (N° 47.22) (courbe IV, fig. 1), le *picrolite du Val d'Aoste, Piémont* (N° 56.167), la *dermatine de Waldheim, Saxe* (N° 64.110), l'*antigorite de Tilly Foster, New York* (N° 95.164) (courbe II, fig. 1).

La partie pseudo-cubique et la masse compacte verte de cette antigorite donnent des courbes identiques avec une très grande inflexion exothermique. Une courbe analogue avait déjà été obtenue par M. J. Orcel, sur ce même minéral. (93) Une autre antigorite de ce gisement (N° 136.231) semble particulièrement intéressante. Le centre de cet échantillon est formé par une partie com-

pacte jaune constituée par une antigorite α entourée d'une mince couche verte pseudo-cubique. Le tout est enveloppé par une croûte blanche dans laquelle on voit un feutrage de petites fibres noyées dans un minéral grenu. Cet échantillon ne permet-il pas de supposer que le très beau minéral pseudo-cubique de Tilly Foster provient de la serpentine compacte jaune d'huile? Mais il reste à déterminer le mécanisme de cette formation.

Enfin, une autre antigorite α antérieurement étudiée est la :

Deweylite du Sud de la Nouvelle-Calédonie (N° 103.755), dont la courbe révèle en outre un phénomène endothermique important entre 150° et 580°. Celui-ci doit correspondre à la déshydratation de substances colloïdales associées à la serpentine.

Je vais examiner maintenant d'autres minéraux appartenant à ce premier type en les groupant suivant leur facies.

a) Variétés xyloïdes.

Métaxite du Col d'Amiante, massif des Sept Laux au Sud d'Allevard Isère, recueillie par M. J. Orcel. L'examen microscopique montre que cette antigorite α est formée par des fibres parallèles, plissées en forme de chevrons alignés, de distance en distance.

Métaxite de Moncaup, Hte-Garonne (N° 136.240). — Sa courbe thermique met d'ailleurs en évidence une association d'antigorite α et de calcite. Cet échantillon blanc verdâtre provient de l'altération d'une serpentine par les eaux superficielles. Une autre métaxite de la même région est celle d'*Arguenos* (N° 95.117) dont la courbe présente un crochet exothermique net.

Métaxite de la pointe Boyota, Nouvelle-Calédonie (N° 99.7).

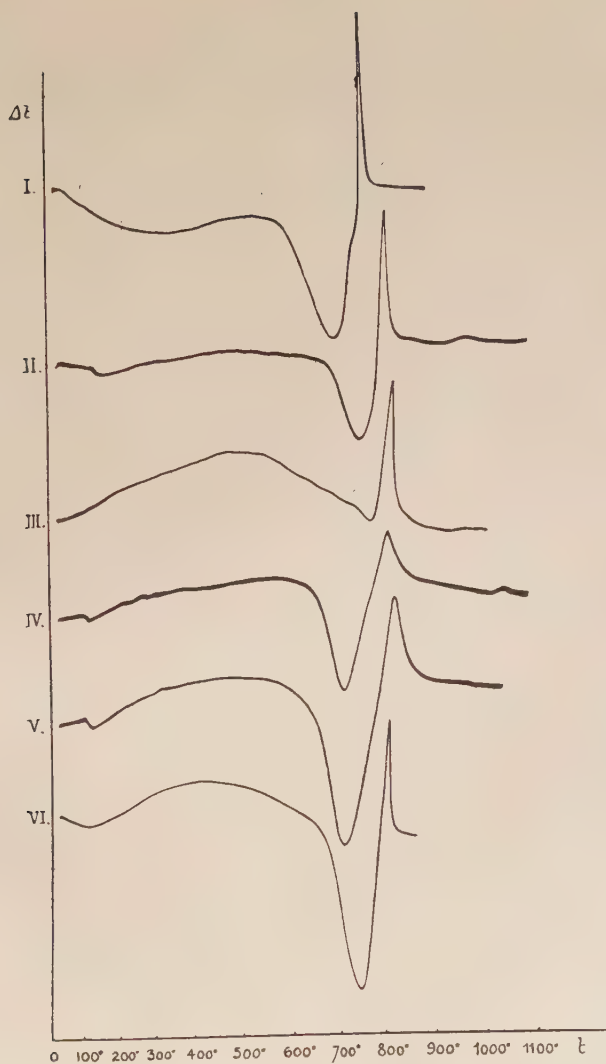


Fig. 1. — *Antigorites* α . I. Antigorite d'Antigorio; II. Antigorite de Tilly Foster; III. Antigorite de Tilly Foster déshydratée; IV. Métaxite de Reichenstein; V. Marmolite de New Jersey; VI. Baltimorite de Baltimore.

— Elle est d'un vert moiré et possède une fibrosité peu apparente. L'analyse thermique montre un phénomène endothermique très bien marqué mais un dégagement de chaleur à 750° peu accusé.

Schweitzérite de la mine Prétoria (N° 136.210). — Ce minéral est un tissu de fibres, extrêmement serré, formant un véritable feutrage. Il n'est pas possible de saisir les directions d'allongement, et l'ensemble de la préparation donne lieu à des extinctions roulantes. Entre nicols croisés la structure n'est pas sans analogie avec celle de la schweitzérite de Zermatt. Sur le fond assez biréfringent de la préparation se détachent quelques bandes moins biréfringentes presque parallèles. L'étude thermique met en évidence une inflexion exothermique nette.

Schweitzérite de Dognoska, Hongrie (N° 136.232). — C'est un minéral jaune verdâtre, sans éclat, qui possède une cassure conchoïdale et dont la courbe thermique est celle d'une antigorite α . Sa structure microscopique est très analogue à celle de la schweitzérite de la mine Prétoria, mais les bandes peu biréfringentes sont ici moins nombreuses.

Baltimorite de Baltimore, Maryland (N° 91.39). — Dans ce gisement, comme dans celui du Val d'Antigorio, on trouve des antigorites α (courbe VI, fig. 1) et des antigorites β .

A cette première catégorie d'antigorites appartiennent également deux « picrosmine », l'un de la Vallée de Comberousse que l'analyse thermique permet de considérer comme un mélange d'antigorite et de talc, et le « picrosmine » de Pressnitz (N° 136.236). Ce dernier est une serpentine compacte possédant une structure sphérolitique dont la courbe est celle d'une antigorite α .

Antigorite asbestiforme de Bourg d'Oisans, Isère (N° 136.211) (qui m'a été aimablement communiquée par M. Gignoux). — Ce minéral vert foncé est une antigorite ;

en effet, la courbe thermique révèle une inflexion endothermique vers 650° suivie d'un crochet exothermique à 750°. Sa structure microscopique est celle d'une métaxite. Il faut aussi rapporter à l'antigorite α un bel échantillon vert olive à facies xyloïde dont la provenance exacte n'est malheureusement pas connue.

b) *Variétés compactes.*

Marmolite de Hoboken, New Jersey (N° 25.722). — Elle est compacte, brillante et sa courbe thermique différentielle (courbe V, fig. 1) est celle d'une antigorite α . Un autre échantillon de *Hoboken* (N° 108.1218) fournit une courbe présentant outre les crochets de l'antigorite une inflexion endothermique vers 900°, due à la présence de talc.

Cérolite, bord du canal Wooden, Nouvelle-Calédonie (N° 126.4). — Cet échantillon jaune brillant, translucide, est constitué par la superposition de couches sensiblement parallèles. Sa courbe thermique met en évidence un départ d'eau à 150° puis un phénomène endothermique vers 600° et à 820° une inflexion exothermique à laquelle se superpose un deuxième crochet exothermique vers 850°. Le constituant essentiel de cette cérolite est donc une antigorite α .

Cérolite de Bou Azzer, Maroc (N° 136.208). — Formée de trois bandes parallèles, respectivement jaune brunâtre, jaune verdâtre et blanche, cette cérolite donne un phénomène endothermique vers 530° et un exothermique dédoublé vers 740° et 760°.

Cérolite de Hoboken, New Jersey (N° 99.919). — Elle se présente en masses compactes vert bleuâtre, onctueuses au toucher et dont la cassure est inégale. L'étude de la plaque mince montre que l'on a affaire à un minéral fibreux peu biréfringent associé à une masse presque isotrope.

Quant à la courbe, elle présente une inflexion endothermique à 140°, une autre vers 650°, puis un crochet exothermique important vers 860°. On peut donc conclure que la cérolite ne forme pas une espèce minéralogique distincte mais qu'elle est essentiellement formée par une antigorite.

Deweylite de la carrière d'Ixons, Comté de Newcastle, Delaware (N° 68.32). — D'un blanc verdâtre terne, cette deweylite est formée de différentes couches. Elle donne un important crochet endothermique à 150° qui s'étend jusqu'à 400°, une très faible inflexion à 520°, un phénomène endothermique vers 650° suivi d'un crochet exothermique net. Cet échantillon, comme la deweylite de Nouvelle-Calédonie, est surtout constitué par une antigorite α . Mais il existe en outre ici, une petite quantité d'un corps donnant l'inflexion à 520° et que je n'ai pu, jusqu'à présent, identifier avec certitude.

c) *Variétés schisteuses.*

Ce groupe comprend seulement : L'*antigorite d'Antigorio* (N° 108.1033) (courbe I, fig. 1) et l'*antigorite de Bou Azzer, Maroc* (N° 136.233). — Par sa couleur vert pomme ce dernier minéral rappelle certaines nouméïtes. Il est faiblement luminescent dans l'ultra-violet et fournit une courbe d'antigorite. Un autre type schisteux d'antigorite a été signalé à Delaware (104) mais je ne l'ai pas étudié.

d) *Variétés constituant des pseudomorphoses.*

Les plus remarquables sont les pseudomorphoses d'olivine de *Snarum* (N° 69.207) ; on peut citer également la *serpentine de chondrodite de Templeton, Canada*, que l'on trouve associée à des cipolins. Après lavage à l'acide acétique, ce dernier échantillon fournit une courbe typique

d'antigorite α . Au point de vue thermique on n'observe aucune différence entre l'antigorite formée à partir de l'olivine et celle résultant de la transformation de la chondrodite. Des pseudomorphoses de chondrodite en serpentine ont été décrites par H. Sjögren (104) dans des gisements suédois.

e) *Variétés asbestiformes.*

Deux chrysotiles seulement appartiennent aux antigorites α : celui de la mine *Amianthus, district de Barberton, Transvaal* (N° 125.88), minéral chatoyant blanc verdâtre, très souple, et celui de *Nertschinsk, Silésie*.

B. — MINÉRAUX APPARTENANT AU DEUXIÈME GROUPE :

ANTIGORITES β .

Parmi les échantillons étudiés précédemment au point de vue des propriétés physiques et chimiques se trouvent un certain nombre d'antigorites β : la *métaxite de Comberousse (Savoie)* (N° 136.214), la *schweitzérite de Zermatt* (N° 69.52), l'*antigorite de Zermatt* (N° 74.136), les *picrossmines de Windisch-Matrey, Tyrol* (N° 56.2) (courbe V, fig. 2) et de *Pressnitz*. (N° 52.591).

Tous ces minéraux ne forment donc pas des espèces distinctes et l'attribution à chacun d'eux de noms différents n'est pas justifiée. Aux antigorites β appartiennent encore : la *bowénite de Khotan, Turkestan chinois* (N° 136.251), la *williamsite du Texas, Pensylvanie* (N° 98.523) (courbe III, fig. 2), l'*antigorite d'Antigorio, Piémont* (N° 66.97), les *chrysotiles de Médous, Hautes-Pyrénées* (N° 87.265), d'*Ambindavato, Madagascar* (N° 131.198), de *Montville, New Jersey* (N° 74.43) (courbe IV, fig. 2) et l'*antigorite de Sterzing, Tyrol* (N° 107.989). — C'est l'analyse thermique qui a per-

mis d'identifier exactement ce dernier minéral. L'essai a porté sur un fragment de l'échantillon lavé à l'acide chlorhydrique à 10 %. La courbe obtenue est bien celle d'une antigorite et à 950°, température de déshydratation du talc, elle ne présente aucune inflexion. Enfin, un cas intéressant est celui du *chrysotile de Québec* (Gi 221). La courbe faite avec la partie vert foncé, très riche en oxyde de fer, ainsi que l'a montré l'analyse chimique faite précédemment, montre une inflexion endothermique à 650°. L'analyse thermique de la partie vert clair met en évidence non seulement le crochet à 650°, mais encore un phénomène endothermique vers 400° (courbe VII, fig. 2). Ce dernier est dû à la déshydratation de la brucite. Cette partie de l'échantillon est donc formée par un mélange d'antigorite β et de brucite, ce qui vérifie l'hypothèse faite antérieurement pour interpréter la composition chimique.

Il m'a paru intéressant de ne pas limiter l'application de l'analyse thermique à des types étudiés chimiquement, mais de l'étendre au plus grand nombre possible d'échantillons, afin de pouvoir juger des fréquences relatives des types α et β et des liens génétiques qu'ils sont susceptibles de présenter. Je décrirai donc les échantillons examinés ainsi en les classant par facies comme précédemment.

a) *Variétés possédant une forme cristalline apparente.*

Antigorite de Tilly Foster ⁽¹⁾. — Cet échantillon provient du même gisement que le précédent. Il en possède le même facies, mais sa courbe thermique différentielle met seulement en évidence le crochet vers 650° des antigorites β . La partie compacte donne une courbe identique.

(1) Cet échantillon provient de la collection de l'Institut catholique et m'a été aimablement communiqué par M. C. Gaudefroy.

Antigorite de Moncaup, Haute-Garonne (N° 108.1535). — Elle est d'un vert pâle, possède un éclat nacré et un clivage pseudo-cubique net. Cette antigorite étudiée par M. A. Lacroix (72) fournit une courbe semblable à celle d'un autre minéral de Moncaup (N° 103.751), à clivages rectangulaires ; elle est caractéristique d'une antigorite β .

b) *Variétés xyloïdes.*

Les métaxites de Camberousse, Savoie (N° 136.214), *de Moncaup* (N° 108.1207), *de Nouvelle-Calédonie* (N° 96.70) et un échantillon N° 9.50 qui ne porte aucune indication de gisement, sont encore des antigorites β .

Picrolite du Texas (N° 63.52). — C'est un minéral mauve, se séparant en aiguilles dures et piquantes. Il est associé à de la calcite ; en effet, l'analyse thermique, faite sur la poudre non traitée par l'acide chlorhydrique, révèle le crochet à 620°, puis trois autres à 700°, à 800° et à 850°. Ces trois dernières inflexions correspondent à la dissociation du carbonate. Avec cette même poudre, lavée à l'acide chlorhydrique, on obtient une courbe montrant uniquement le phénomène endothermique à 650°.

Picrolite de Warwick, New Jersey (N° 57.53). — Ce picrolite vert foncé ressemble beaucoup à l'antigorite de Zermatt. Sa déshydratation lente à 650° devient brusque à 700° (courbe I, fig. 2). Citons encore ici deux autres picrolites : celui d'*Amelose* (N° 96.446) et celui de *Matrey* (N° 56.200).

Antigorite de Saint-Colomban des Villards, Savoie (N° 124.258). — La structure microscopique de ce minéral vert foncé est assez simple. Les fibres qui le constituent sont disposées à peu près parallèlement. Quelques-unes d'entre elles sont tordues. Elles ont un allongement posi-

tif, une extinction droite et une biréfringence faible. L'analyse thermique met seulement en évidence la présence d'eau de constitution qui se dégage de 650°. Une autre antigorite de la même localité donne les mêmes résultats thermiques.

Parmi les autres minéraux xyloïdes se trouvent encore une *baltimorite* de *Baltimore, Maryland* (N° 91.39) et plusieurs « picrosmine ».

Picrosmine de *Windisch-Matrey, Tyrol* (N° 56.16). — Il se présente en masses fibreuses jaune verdâtre, associées à de la calcite. La courbe, faite sur une partie exempte de carbonate, montre un seul phénomène thermique à 650°. Des courbes identiques ont été obtenues avec les *picrosmine* du *Tyrol* (N° 96.410), de *Salzburg* (N° 54.316), de *Windisch* (N° 56.2), de *Pressnitz* (N° 136.225) et (N° 136.226) provenant de la collection du Musée de Prague.

Enfin, le *picromisme* de *Windisch-Matrey* (N° 56.202) et celui de *Pressnitz* (N° 136.237) fournissent respectivement des courbes qui indiquent des départs d'eau de constitution à 650° et à 950°. Ces températures de déshydratation sont celles d'un mélange d'antigorite 2, et de talc.

En résumé, parmi tous ces picrosmine, aucun ne forme une espèce spéciale; ce sont soit des antigorites, soit des mélanges d'antigorite et de talc.

c) Variétés compactes.

Bowénite de *Rhode Island* (N° 27.53). — Ce minéral d'un blanc très légèrement verdâtre est moins pur que celui du Turkestan chinois. Il est associé à de la calcite comme le montre la courbe qui met en évidence non seulement l'inflexion à 650° mais encore une autre à 800°. Après le lavage à l'acide chlorhydrique dilué, seul le phénomène endothermique à 650° persiste.

Aux antigorites β appartiennent encore la *bowénite* de *Templeton* (N° 101.451), la *marmolite* de *Hoboken, New Jersey* (N° 99.920), et la *williamsite* du *Texas, Pensylvanie*

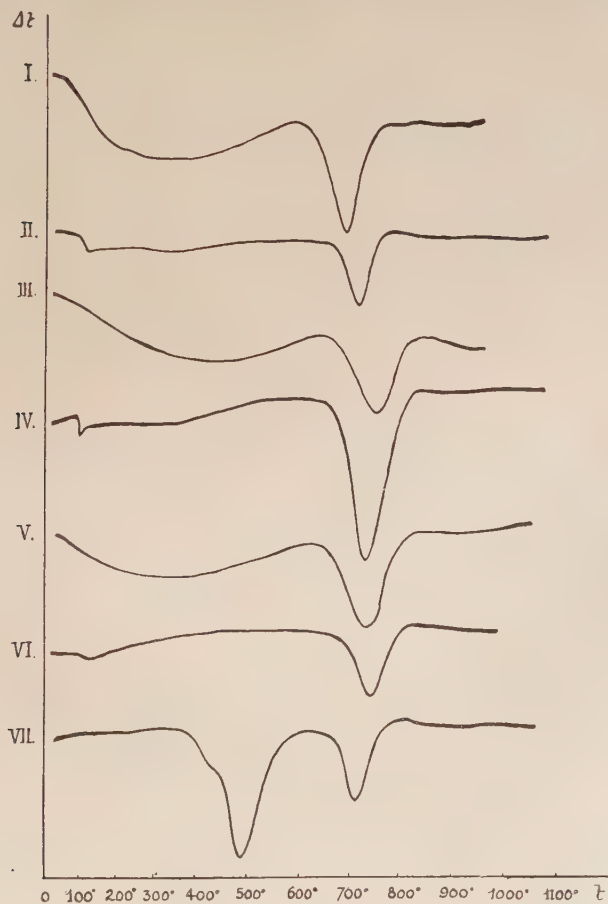


Fig. 2. — *Antigorites* β . I. Picrolite de Warwick ; II. Chrysotile de Goujot ; III. Williamsite du Texas ; IV. Chrysotile de Montville ; V. Picrosmine du Tyrol ; VI. Chrysotile de Baschenovo ; VII. Chrysotile de Québec.

(N° 63.56). Ce dernier minéral translucide, d'un beau vert pomme, possède une structure fibreuse submicroscopique. Les fibres se groupent en lamelles, elles-mêmes assemblées en sphérolites plus ou moins parfaits.

d) *Variétés schisteuses.*

Elles sont extrêmement rares et comportent seulement deux antigorites : l'une du *Val d'Antigorio* (N° 66.97) et l'autre de la collection A. Des Cloiseaux.

e) *Minéraux constituant des pseudomorphoses.*

Ils sont également peu nombreux et comprennent, en dehors de l'*antigorite de Snarum*, une *bastite de Bast, Harz* (N° 25.945) et une de *Corse* (N° H399).

f) *Variétés asbestiformes.*

A cette catégorie appartiennent uniquement les *chrysotiles de Goujot, Vosges* (N° 95.445) (courbe II, fig. 2), de *Moncaup, de Baschenovo Oural* (N° 129.321), (courbe VI, fig. 2), de *Shabanie, Rhodésie du Sud* (N° 125.90) et celui de *Kaaspche Hoop, Barberton, Transvaal* (N° 136.181), du *Groenland et de Thetford, province de Québec* (N° 108.1745 et 108.1805).

En résumé, l'analyse thermique permet de considérer deux groupes de serpentines : les antigorites α et les antigorites β ; ces dernières sont les plus nombreuses. De plus, dans quelques gisements on trouve en même temps des antigorites des deux catégories, comme à Tilly Foster et à Antigorio. Enfin, certains facies appartiennent presque exclusivement à un groupe déterminé ; ainsi, d'une manière générale, les bowénites, les williamsites et les chrysotiles sont des antigorites β .

Il faut souligner également que l'étude thermique diffé-

rentielle a permis de déceler les mélanges des minéraux des serpentines avec d'autres minéraux, tels que la calcite, le talc, et la brucite, mais ces associations sont exceptionnelles. Il n'est pas possible d'admettre, comme le fait B. Tchernych (107), que l'analyse thermique des antigorites pures révèle d'une manière constante un départ d'eau correspondant à celui de la brucite. Cette constatation a d'ailleurs été confirmée par F. Syromiatnikoff (105), qui n'a pas observé dans la courbe thermique d'une serpentine pure le crochet de déshydratation de la brucite. Contrairement à ce que pense cet auteur, on ne peut admettre la présence d'un phénomène exothermique vers 400°, la plupart de ses courbes et des miennes étant à cette température parfaitement horizontales.

2. — L'analyse thermique appliquée aux serpentines massives.

L'étude précédente a porté uniquement sur les minéraux exceptionnels des serpentines. Il est intéressant de rechercher maintenant quels résultats peut fournir l'analyse thermique des serpentines elles-mêmes et s'il existe des mélanges intimes en proportions variables des deux groupes précédemment distingués. Avant d'entreprendre ce travail, j'ai d'abord soumis à l'analyse thermique des mélanges artificiels d'antigorites α et β (15).

A. — ÉTUDE DES MÉLANGES ARTIFICIELS.

Pour composer ces mélanges j'ai utilisé la bowénite de Khotan, Turkestan chinois (courbe I, fig. 3), et l'antigorite α pseudo-cubique de Tilly Foster. La courbe obtenue avec un mélange contenant 5 % d'antigorite est absolument identique à celle de la bowénite pure. La courbe III (fig. 3)

correspondant à un mélange à 10 % d'antigorite est légèrement modifiée. Il est ici possible de déceler la présence du minéral α mais avec une certaine incertitude dans IV (fig. 3) mélange à 30 % d'antigorite, il y a une amorce de phénomène exothermique. Dans les courbes V et VI (fig. 3) correspondant respectivement à des teneurs de 50 % et de 80 %, le crochet exothermique se précise. Pour 90 % d'antigorite, l'inflexion exothermique est nettement indiquée (courbe VII fig. 3) mais cependant elle est un peu moins accentuée que dans VIII (fig. 3) correspondant à l'antigorite pure. La méthode permet donc de déceler, dans des mélanges, la présence de l'un des constituants dès que celui-ci atteint une proportion de 10 %.

B. — SERPENTINES DONT LA COURBE THERMIQUE EST IDENTIQUE
A CELLE DES ANTIGORITES α .

Les courbes d'analyse thermique des roches de *Cahus*, *Lot*, de *Callas*, *Lot* (N° H 388), de *Gournay*, *Allier* (N° H 384), de *Firmy*, *Aveyron* (N° H 386) et de *La Roche L'Abeille*, *Haute-Vienne* (N° H 382), mettent toutes en évidence le crochet endothermique vers 650° et aussi le phénomène exothermique vers 750°.

A ce premier groupe appartiennent encore un certain nombre d'échantillons de Madagascar tels que la serpentine d'*Ambindavato* (N° 133.11), grenue, jaune verdâtre qui contient de très nombreuses veinules de chromite ; celles d'*Andranifite* (N° T58) (courbe IX, fig. 4) et de *Manakanbahiny* (N° HA 30) (courbe X, fig. 4).

Ces trois échantillons ont un aspect très analogue et leurs courbes montrent de très beaux phénomènes exothermiques.

Serpentine de Aït Amam, *Maroc* (N° H 401). — Cette roche, presque complètement blanche et que l'on peut rap-

procher de celle décrite par J. Egerman et par F. Grünling, a dû subir l'action des eaux superficielles. Sa courbe est aussi belle que celle de l'antigorite de Tilly Foster.

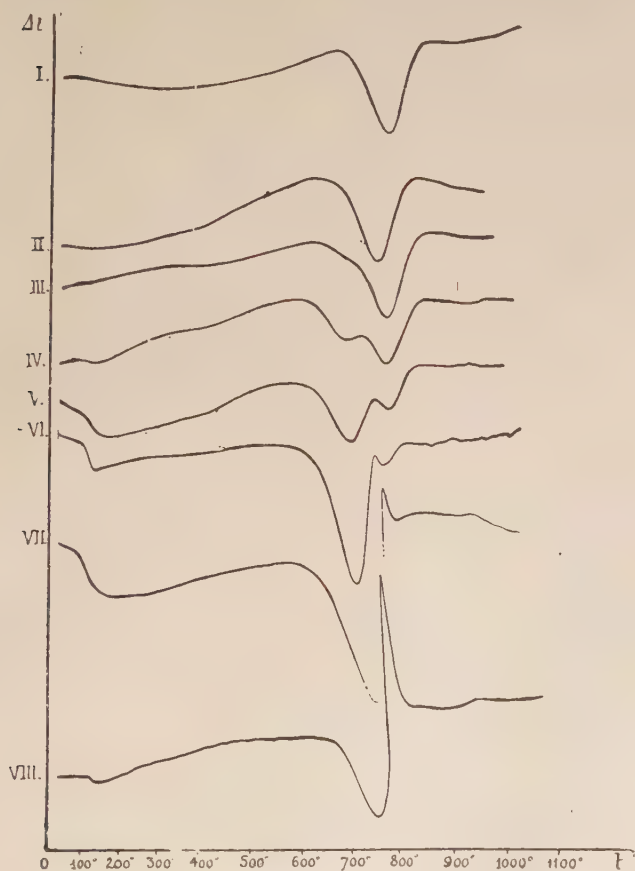
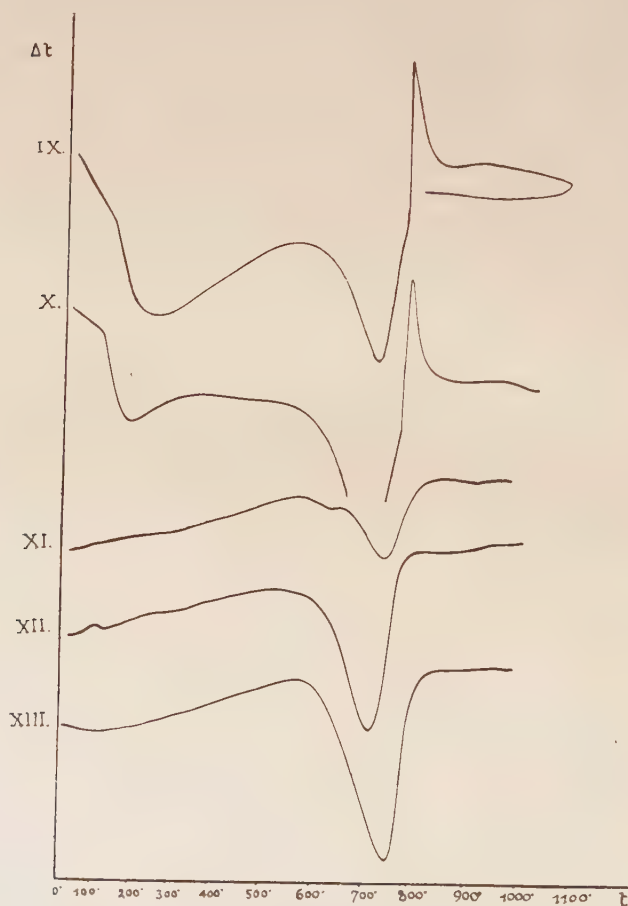


Fig. 3. — *Mélanges artificiels d'antigorite α et d'antigorite β .* I. Bowénite de Khotan ; II. Bowénite avec 5 % d'antigorite ; III. Bowénite avec 10 % d'antigorite ; IV. Bowénite avec 30 % d'antigorite ; V. Bowénite avec 50 % d'antigorite ; VI. Bowénite avec 80 % d'antigorite ; VII. Bowénite avec 90 % d'antigorite ; VIII. Antigorite de Tilly Foster.

Un autre échantillon de la même localité de couleur verte, recouvert d'une croûte rubéfiée, fournit une courbe qui révèle un phénomène endothermique vers 650° et un dégagement de chaleur à 800°.



4. — *Serpentines*. IX. d'Andranifite; X. de Manakanbahiny; XI. d'Andrambo; XII. de Médous; XIII. de Montville.

La *serpentine de Voutchgora, Serbie Occidentale*, recueillie par M. S. Pavlovitch et qui a été étudiée récemment par lui (94), rappelle beaucoup les serpentines malgaches et, comme elles, fournit un phénomène exothermique très important.

Serpentine de Krudna Vrutzi, Serbie Occidentale. — Elle est extrêmement altérée et les veines de la serpentine primitive sont remplacées par des carbonates magnésiens. Avec la poudre lavée à l'acide chlorhydrique à 5 % pendant une heure, on obtient une courbe dans laquelle le crochet endothermique à 650° est très diminué. Ceci s'interprète par une décomposition de la serpentine, peut-être partiellement transformée en produits siliceux. Mais il est difficile d'expliquer que le phénomène exothermique ne paraisse pas affaibli dans la même proportion.

Serpentine du Parc Beancon Lizard, Cornouailles (N° T 73). — Très belle roche vert foncé, sillonnée de larges veines noires bordées de vert clair ; elle donne une courbe présentant une grande inflexion correspondant à un départ d'eau d'adsorption lent et continu entre 150° et 550°.

Parmi les roches fournissant des courbes d'antigorites α je citerai encore : celle de *Davos, Weiss Flulyoch, Suisse* (N° H 374), recueillie par M^{me} Jérémine, plusieurs autres de *sir Lan Daglo, Syrie*, rapportées par M. Dubertret, ainsi que la serpentine jaune d'huile de *Union Hill près Hanover, New Mexico* (N° H 405), donnée au Muséum par M. Raguin. La courbe de cette dernière met en évidence un important dégagement d'eau hygroscopique de 150° à 450° et des phénomènes endo et exothermiques nets à 650° et 750°.

Enfin, j'ai trouvé deux exemples d'association d'antigorites α et de brucite : une roche de la collection de La Durandière (N° H 406) ne portant pas d'indication de gisement et

une dunite altérée de *Nui Nam Son au Sud-Ouest de Tranh Hoa, Annam* ⁽¹⁾.

C. — SERPENTINES DONT LA COURBE THERMIQUE
EST CELLE DES ANTIGORITES β .

Ces roches très nombreuses comprennent : celle de *Médous, Haute-Pyrénées*, qui renferme les veines du chrysotile étudié (courbe XII, fig. 4), celle de la *Carade, Var* (N° T 88), d'un très beau vert, sillonnée de veinules noires s'anastomosant en tous sens, plusieurs échantillons de la *vallée de Comberousse, près Saint-Colomban des Villards (Savoie)* (N°s H 376 et H 377) et une serpentine, à structure maillée caractéristique (N° H 378), rapportée du *Thabor* par M. G. Choubert.

A ce groupe appartient une roche, du *col d'Amiante, Isère* (N° H 375), d'un vert sombre avec des reflets gris et possédant un toucher onctueux. Au microscope on voit de petites plages irrégulières, peu biréfringentes, associées à une masse isotrope. Cette masse n'est vraisemblablement pas colloïdale car l'analyse thermique ne révèle aucun phénomène avant 650°.

Les serpentines de la *voûte Chillac, Haute-Loire* (N° H 383), et de *Saint-Eloy des Mines, Puy-de-Dôme* (N° H 385), d'un vert très sombre à éclat mat, sont aussi des antigorites β .

La serpentine de la vallée de *Bevinco, Corse* (N° H 395), roche d'un vert foncé dont la structure microscopique fine et enchevêtrée rappelle celle de la *williamsite*, la *serpentine à bastite de Bigulia* (N° H 390), des échantillons du col de *Prato, région de Orezza (Corse)*, ceux du *Mont Mar-*

(1) M. A. LACROIX. Contribution à la connaissance de la composition chimique et minéralogique des roches éruptives de l'Indochine. *Serv. Geol. Indochine*, vol. 20, f. 3, 1933, p. 108.

colinco (N° H 397), recueillis par M. J. Orcel, sont également constitués par des antigorites β , ainsi que la roche de l'*Aqua Tignosa*, à structure calcédonieuse décrite par M. A. Lacroix (72).

Outre ces roches récoltées en France, j'ai étudié la serpentine de la côte d'*Arsouz*, *Syrie*, celle d'*Ayagbé*, *Togo*, à structure microscopique fibreuse très fine et celle d'*Ampandrava*, *Madagascar* (N° H 402). Dans cette dernière, l'étude microscopique montre l'association d'une antigorite à structure maillée avec de grandes lames de mica biotite à extinctions onduleuses. Ajoutons, enfin, à cette liste, la serpentine de *Sigdal près Modum*, *Norvège* (N° G 16), celle de *Reichenstein* (N° 36.107), celle de *Corée* (N° 136.242) travaillée en forme de disques, puis l'échantillon compact jaune de *Montville* (courbe XIII, fig. 4) et enfin la serpentine d'*Asamayana au Sud d'Udi Yamada*, *Japon* (N° H 404).

Grâce à l'analyse thermique j'ai pu également mettre en évidence dans une dunite altérée de *Tawmaw*, *Birmanie*, un mélange d'antigorite et de brucite. La courbe de cette roche présente en effet, en dehors du crochet à 650°, une inflexion endothermique vers 450° correspondant à la déshydratation de la brucite. Le même mélange a été trouvé dans une roche de la collection géologique du Muséum ne portant malheureusement aucune indication de provenance.

D. — SERPENTINES DONT LA COURBE THERMIQUE

DÉCELE LA PRÉSENCE D'UN MÉLANGE D'ANTIGORITES α ET β .

Des exemples de mélange de minéraux des deux groupes dans une même roche sont donnés par la serpentine d'*Arvieu*, *Aveyron*, qui contient environ 70 % d'antigorite α , celle d'*Andrambo*, *Madagascar* (N° H 403), dont la courbe (XI,

fig. 4) correspond à un mélange à 40 % du minéral du premier groupe. Cette dernière courbe est, en effet, intermédiaire entre les courbes IV et V de la fig. 3 p. 71. Enfin la serpentine recueillie sur les bords de la rivière *Trioux* dans les Côtes-du-Nord a une teneur d'environ 20 % en antigorite α .

Conclusions à tirer de l'analyse thermique des serpentines.

On voit d'après ce qui précède que l'application aux serpentines de l'analyse thermique différentielle fournit des résultats très intéressants au point de vue pétrographique.

En effet, elle permet d'identifier facilement l'antigorite dans une roche magnésienne en voie de serpentinisation et de déceler son association avec d'autres minéraux magnésiens hydratés, tels que le talc et la brucite.

L'interprétation de l'analyse chimique repose ainsi sur une base certaine.

D'autre part, l'analyse thermique a montré que les caractères de la déshydratation du constituant essentiel des serpentines sont les mêmes que ceux des minéraux à facies particuliers que l'on y rencontre. Tous appartiennent aux deux mêmes types d'antigorites ; il n'y a pas lieu de considérer, comme l'a fait récemment M. F. Syromiatnikoff (106) que le constituant des serpentines est une espèce distincte et de le désigner sous le nom spécial de γ chrysotile.

Enfin, l'analyse thermique a mis en évidence un fait intéressant si des recherches ultérieures confirment sa généralité. Tous les échantillons de serpentines altérées, friables, vert clair, riches en eau d'adsorption que j'ai examinés appartiennent au groupe des antigorites α , tandis que les roches vert sombre, pauvres en eau hygroscopique, sont constituées par des antigorites β .

Il semble que la variété α provienne, dans la plupart des cas, de la formation, par altération superficielle, de la forme β .

Cette hypothèse est en accord avec le fait que le mélange intime des deux antigorites dans une même roche est un cas extrêmement rare.

3. — Complément à l'étude thermique différentielle.

Je me suis proposée de suivre, dans un plus grand intervalle de températures, les transformations thermiques subies par un certain nombre de serpentines de chaque type. Pour cela, j'ai utilisé le même dispositif que précédemment, mais en employant un four permettant de porter la substance étudiée et le témoin à une température de 1395° . D'autre part, l'échauffement dans ces conditions étant beaucoup plus rapide, il en résulte une plus grande sensibilité dans l'observation des phénomènes. Le four utilisé était un four à tube horizontal. Dans ce tube étaient placés, côte à côte, les deux petits godets contenant le minéral et la substance de comparaison. Celle-ci était une antigorite préalablement calcinée à 1400° . De cette façon, la chaleur spécifique du minéral étudié et du témoin étaient aussi voisines que possible. Dans cette nouvelle série d'essais, la construction de chacune des courbes a duré exactement le même temps; il a fallu une heure pour passer de la température ordinaire à 1395° environ. J'ai obtenu encore ainsi deux types de courbes.

A. — ANTIGORITES α .

Les courbes sont très analogues à celles obtenues précédemment, toutefois, dans la plupart, il y a lieu de signaler quelques modifications de détail.

Antigorite de Tilly Foster, New York (N° 95.164). —

Outre le départ d'eau hygroscopique à 150° , celui de l'eau de constitution à 600° et le crochet exothermique important à 750° , un second phénomène exothermique très faible apparaît vers 900° . Au delà de cette température et jusqu'à 1395° , l'analyse thermique ne révèle aucune transformation. Après cette calcination, la poudre est devenue brune et a subi un commencement de fusion.

Picrolite du Val d'Aoste (N° 56.167). — Avec ce minéral on observe comme précédemment un phénomène endothermique à 650° suivi immédiatement d'un dégagement de chaleur vers 800° , puis un autre crochet exothermique petit mais net à 1120° .

Antigorite de Snarum (N° 69.207). — Suivant les fragments utilisés cette antigorite donne deux courbes ; l'une est absolument identique à celle obtenue antérieurement, l'autre montre non seulement les inflexions à 650° et à 750° , mais encore un tout petit crochet exothermique à 900° .

B. — ANTIGORITES β .

Antigorite de Zermatt (N° 74.136). — Le départ d'eau de constitution se fait encore vers 650° et se termine à 800° . Il n'existe pas de dégagement de chaleur, mais à 850° , j'ai pu mettre en évidence une deuxième inflexion endothermique extrêmement faible qui paraît, jusqu'à présent, difficile à interpréter.

Schweitzerite de Zermatt (N° 69.52). — Sa courbe indique que le dégagement de l'eau de constitution débute vers 600° et se termine vers 800° , température à laquelle se produit une légère amorce de phénomène exothermique. Au delà de 800° et jusqu'à 1395° , aucune autre modification n'a pu être décelée.

Bowénite de Khotan, Turkestan chinois (N° 136.251). —

Avec ce minéral, j'ai construit deux courbes en calcinant jusqu'à une température maxima de 1350° . Dans l'une, le phénomène endothermique se place entre 670° et 930° , puis à 1070° on observe un léger phénomène exothermique ainsi qu'un autre encore plus faible vers 1220° . Dans la seconde, l'eau de constitution se dégage à peu près dans le même intervalle de 680° à 950° mais il n'apparaît ici, qu'une seule transformation exothermique à peine indiquée vers 1080° .

Dans les deux cas, le produit de la calcination est parfaitement blanc.

Chrysotile de Montville, New Jersey (N^o 74.43). — L'essai thermique met en évidence une absorption de chaleur entre 650° et 840° et un léger dégagement de chaleur vers 850° . Ainsi chauffé jusqu'à 1350° le chrysotile reste blanc.

Chrysotile de Thetford, Province de Québec (N^o 108.1745). — La courbe obtenue avec ce minéral est absolument identique à la précédente.

En résumé, ce dispositif plus sensible permettant l'observation de transformations thermiques jusqu'à 1400° confirme les résultats précédemment obtenus. L'eau de constitution des minéraux du groupe de la serpentine s'échappe en une fois vers 650° et dans un certain nombre d'entre eux, le phénomène endothermique correspondant à ce dégagement est suivi immédiatement par une libération importante d'énergie calorifique vers 750° . L'analyse thermique, faite à plus haute température, permet de constater en outre, que dans les minéraux du premier groupe il y a parfois un deuxième phénomène exothermique, toujours très faible vers 900° et que dans ceux du deuxième groupe on peut déceler une légère tendance à un dégagement de

chaleur vers 800° et quelquefois, mais plus faiblement vers 1070° .

Quoi qu'il en soit, il n'en persiste pas moins une différence très grande entre le groupe des antigorites α et celui des antigorites β .

4. — Essai d'interprétation du phénomène exothermique présenté à 750° par les antigorites α et mise en évidence d'un phénomène lumineux.

**A. — INFLUENCE DE L'ATMOSPHÈRE
SUR LE PHÉNOMÈNE EXOTHERMIQUE.**

L'analyse thermique différentielle ayant mis en évidence deux phénomènes importants, l'un à 750° et l'autre à 650° , je me suis proposée d'étudier successivement chacun d'eux.

Tout d'abord j'ai cherché à préciser les conditions pouvant influencer le phénomène exothermique. Le premier facteur qui m'a paru être en liaison avec ce dégagement de chaleur est l'atmosphère dans laquelle est plongée la substance étudiée durant son échauffement. La libération d'énergie thermique correspond-elle à une oxydation ? J'ai donc tracé plusieurs courbes d'analyse thermique différentielle d'un même minéral dans l'oxygène, dans l'azote et dans le vide.

a) *L'analyse thermique différentielle dans l'oxygène et dans l'azote.*

Le dispositif expérimental est celui utilisé pour l'analyse thermique différentielle dans l'air avec le four vertical ; en portant la substance jusqu'à une température maxima d'environ 1100° , mais en ayant soin d'établir une circulation du gaz (oxygène ou azote) avant, et pendant la durée

de l'expérience. On veille à n'introduire dans l'appareil qu'un gaz parfaitement pur et sec.

Dans l'oxygène, il a été construit une courbe d'antigorite α et une d'antigorite β . La première est celle du picrolite de la *vallée d'Aoste* qui montre une inflexion endothermique vers 620° suivie à 770° d'un phénomène exothermique de même importance que dans l'air.

La seconde, celle du *chrysotile de Montville*, indique que le départ de l'eau de constitution a lieu à 650° . Elle ne diffère donc pas de la courbe d'analyse thermique établie dans l'air.

Dans l'azote j'ai obtenu avec l'*antigorite de Tilly Foster, New York*, les mêmes résultats que dans l'air.

Ces quelques essais permettent déjà de conclure que le phénomène exothermique n'est pas dû à une oxydation.

b) *L'analyse thermique différentielle dans le vide.*

Le dispositif utilisé est analogue à celui qui m'a servi pour la construction des courbes de déshydratation ; je le décrirai plus loin. Les essais ont été exécutés sous un vide de 0 mm. 04 de mercure, maintenu pendant toute la durée de l'analyse thermique.

Antigorite de Tilly Foster. — Dans ce cas, l'eau de constitution se dégage vers 550° et le phénomène exothermique se produit, comme dans l'air et dans l'azote à 750° , mais il est plus important et se dédouble légèrement.

Antigorite d'Antigorio, Piémont. — L'inflexion endothermique est beaucoup plus grande que dans le cas de l'analyse différentielle du même minéral faite dans l'air.

Avec la *bowénite de Khotan, Turkestan chinois*, la courbe offre une particularité. Le crochet à 650° correspondant au départ de l'eau de constitution présente une inflexion sup-

plémentaire vers 770° due peut-être, comme dans le cas du dédoublement du crochet exothermique de l'antigorite de Tilly Foster, à une discontinuité du phénomène. Sur la courbe du *chrysotile de Montville*, il apparaît, en dehors du crochet endothermique caractéristique des antigorites β une légère amorce de phénomène exothermique vers 750° .

Enfin, deux courbes ont été obtenues avec la *serpentine de Voutchgora, Serbie Occidentale*. La première, en chauffant la substance dans le vide puis en la refroidissant dans l'air. La seconde, en chauffant et en refroidissant la serpentine dans le vide. Ces deux courbes sont identiques et très analogues à celle construite, avec la même roche chauffée dans l'air ; toutefois, l'inflexion exothermique est beaucoup plus importante.

L'étude dans le vide permet de retrouver les mêmes différences fondamentales entre les deux catégories d'antigorites. Toutefois dans le vide, les antigorites α mettent en évidence un phénomène exothermique beaucoup plus important et les antigorites β montrent une tendance à donner ce phénomène.

Il est difficile, pour l'instant, de donner une explication certaine des différences observées dans l'importance du phénomène exothermique présentée par les antigorites α dans l'air et dans le vide. Notons seulement que ces essais montrent que la cause du phénomène exothermique ne doit pas être recherchée dans une réaction possible entre l'atmosphère et le minéral, mais dans le minéral lui-même.

B. — MISE EN ÉVIDENCE D'UN PHÉNOMÈNE LUMINEUX ACCOMPAGNANT LE DÉGAGEMENT DE CHALEUR.

Cherchant à préciser les données de l'analyse thermique différentielle je me suis proposée d'étudier en lui-même

ce dégagement calorifique. Je me suis demandée, tout d'abord, si cette transformation était accompagnée d'une incandescence facilement observable (17). Pour cela, j'ai déshydraté complètement, dans le vide (pression de 0 mm. 12) 0 gr. 4773 d'antigorite de Tilly Foster. Au bout de 192 heures de chauffage à 650°, le minéral a perdu 13,58 % de son poids. Une nouvelle calcination à 650° pendant 140 heures, ne fait qu'accroître cette perte de 0,50 %. Le chauffage prolongé encore pendant 192 heures à 650°, puis pendant 6 heures à 720° ne provoque aucune variation de poids. Au bout de ces 19 jours de calcination, on peut donc considérer l'antigorite comme complètement déshydratée ; c'est d'ailleurs ce que prouve la courbe d'analyse thermique faite avec cette poudre. La courbe ne présente aucune inflexion endothermique mais seulement un crochet exothermique important à 750° (courbe III, fig. 1). C'est sur la poudre déshydratée à 720° que j'ai observé le phénomène d'incandescence.

Quelques centigrammes sont placés dans un creuset de platine, et chauffés progressivement dans un four à résistance de nickel-chrome. La température approximative de la poudre est donnée par un couple thermo-électrique (platine, platine-rhodié). A 810° j'ai remarqué que de proche en proche, les grains de la poudre s'illuminaient.

Une véritable traînée lumineuse se déplaçait lentement dans la masse. Le crochet exothermique observé correspond donc bien à une incandescence. Celle-ci est visible parce qu'elle se produit à une température relativement basse (rouge sombre).

On observe corrélativement un changement de couleur de l'antigorite. Alors qu'après déshydratation et chauffage à 720° la poudre est légèrement jaunâtre, elle devient rouge brique après l'incandescence. Pour mettre en évidence,

cette émission de lumière, il n'est d'ailleurs pas nécessaire de déshydrater aussi soigneusement la poudre du minéral. On observe très facilement le phénomène en chauffant directement cette poudre sur une lame de platine dans la flamme d'un brûleur Mecker. J'ai remarqué que toutes les antigorites α présentent le phénomène d'incandescence avec plus ou moins d'intensité, c'est le cas, par exemple de la *métaxite de Reichenstein* (N° 47.22), du *picrolite du Val d'Aoste* (N° 56.167), de la *deweylite du Sud de la Nouvelle-Calédonie* (N° 103.755) et de la *marmolite de Hoboken, New Jersey* (N° 136.235).

Cette incandescence se produit avec autant de netteté dans les poudres de roches dont le constituant essentiel est une antigorite α et parmi celles-ci, je peux citer les serpentines d'*Ambindavato* (N° 133.11), d'*Andranifite* (N° T 58), de *Aït Amam, Maroc* (N° H401), de *Voutchgora, Serbie*.

Chauffés dans les mêmes conditions, les antigorites β (minéraux et roches) n'émettent pas de lumière. Le phénomène d'incandescence peut donc être employé pour caractériser les antigorites α . Rappelons qu'un phénomène analogue a été signalé par A. Des Cloizeaux dans certains niobotantalates de terres rares formant avec l'orthite, l'allanite, la gadolinite, le groupe des minéraux *pyrognomiques* (36) (80) et dans certains oxydes métalliques précipités (76).

La corrélation entre le crochet exothermique et l'émission de lumière paraît donc certaine. Mais la cause du phénomène reste à expliquer. On peut le rapprocher de celui observé avec la kaolinite. En effet, les courbes d'analyses thermiques présentent des analogies. La kaolinite se déshydrate vers 550° et donne une inflexion exothermique vers 900°. Or, l'étude aux rayons X a montré, qu'après le

départ de l'eau de constitution l'édifice cristallin de la kaolinite est détruit. Cette absence de structure a été vérifiée jusqu'à la température du phénomène exothermique. A 900° en effet, il se produit une recristallisation, de la kaolinite déshydratée, en un mélange de tridymite et de mullite. Cette recristallisation s'effectuant avec un dégagement de chaleur on peut penser qu'un phénomène analogue a lieu dans les serpentines. Je le montrerai à l'aide d'une étude aux rayons X, mais auparavant je terminerai l'étude thermique de ces substances par l'exposé des résultats obtenus en les déshydratant dans le vide.

II.—ÉTUDE DE LA DÉSHYDRATATION DANS LE VIDE.

L'analyse thermique différentielle a permis d'indiquer approximativement la température à laquelle s'effectue le départ de l'eau de constitution des antigorites, mais pour connaître avec précision cette température, il est nécessaire d'avoir recours à la méthode de la déshydratation dans le vide qui fournit aussi, par perte de poids de la substance sa teneur en eau de constitution.

1. — Courbes de déshydratation.

Ces courbes ont été tracées à l'aide du dispositif employé par M. J. Orcel, dans son étude de la déshydratation des chlorites (92). Je n'en donnerai pas à nouveau la description et en rappellerai seulement le principe.

La substance est placée dans un tube de silice, où on a fait préalablement un vide de l'ordre de 0 mm. 05 de mercure et dont on élève progressivement la température. Le

dégagement de l'eau est mis en évidence par l'accroissement de pression qu'il provoque dans cette enceinte. On vérifie l'étanchéité de l'appareil pendant plusieurs heures. La substance pulvérisée (0 gr. 5) assez finement est placée dans un creuset de platine et sa température est mesurée à l'aide d'un couple thermo-électrique platine, platine-rhodié. Le chauffage est réglé de manière à atteindre au bout d'une heure, la température de 600°.

L'opération consiste à tracer la courbe représentant la variation de la pression exprimée en mm. de mercure en fonction de la température (16). La forme de cette courbe met en évidence la température de départ de l'eau. En effet, dans le cas d'un dégagement d'eau hygroscopique ou d'adsorption, la courbe est continue et sa pente est d'autant plus grande que la quantité d'eau dégagée est plus considérable ; dans le cas d'un dégagement d'eau de constitution, le départ est brusque, la pente augmente rapidement et l'abscisse du point anguleux donne la température de départ. J'ai construit de cette façon, les courbes de déshydratation des minéraux des serpentines et des serpentines elles-mêmes.

A. — ANTIGORITES α .

Antigorite de Tilly Foster, New York. — La courbe IV (fig. 5) montre que ce minéral contient une assez grande quantité d'eau hygroscopique qui donne lieu au premier départ entre 100 et 150°. A 515°, commence déjà le dégagement de l'eau de constitution qui rapide entre 515° et 525°, lent jusqu'à 605°, s'achève brusquement à partir de cette température.

Les résultats expérimentaux que traduit la courbe ont été obtenus en utilisant 0 gr. 4773 de substance.

Métaxite de Reichenstein, Silésie. — Départ d'eau

hygroscopique assez important, puis la pente de la courbe reste faible jusqu'à 550°, température à laquelle elle se redresse brusquement. Le dégagement de l'eau commence à cette température, il reste lent jusqu'à 600° puis s'achève très rapidement.

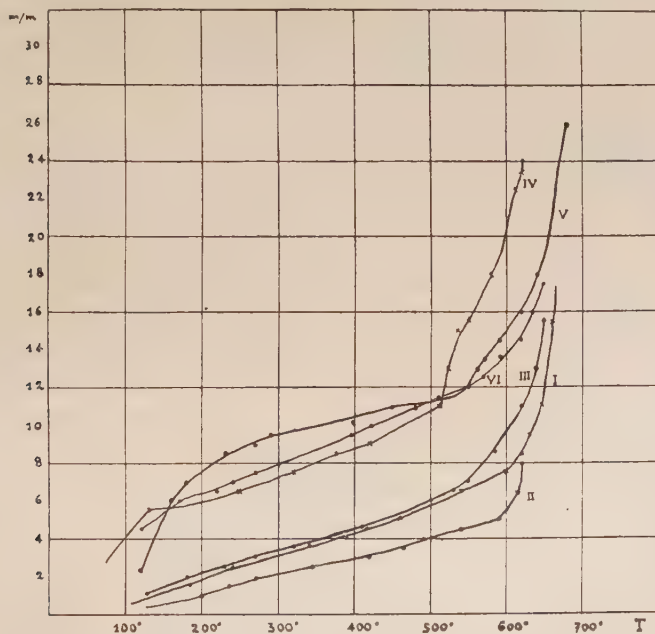


Fig. 5. — *Courbes de déshydratation dans le vide*; I. Chrysotile de Montville; II. Bowénite du Turkestan chinois; III. Schweitzérile de Zermatt; IV. Antigorite de Tilly Foster; V. Serpentine d'Ambindavato vert foncé; VI. Serpentine d'Ambindavato vert clair.

Antigorite du Val d'Antigorio (N° 108.1033). — La courbe de déshydratation, construite en utilisant 0 gr. 4838 d'antigorite, est caractérisée par une pente sensiblement constante jusqu'à 590°. A cette température, elle se relève très nettement.

B. — ANTIGORITES β .

Chrysotile de Montville. — Ce minéral contient très peu d'eau hygroscopique et d'eau d'adsorption qui se dégagent d'ailleurs d'une manière continue jusqu'à 600°. A ce moment commence le dégagement de l'eau de constitution assez lent entre 600° et 640° puis rapide ensuite. La courbe I (fig. 5) permet de constater que le point anguleux se produit à 600°.

Chrysotile d'Ambindavato, Madagascar. — L'eau hygroscopique, dont la teneur est beaucoup plus importante que dans le chrysotile de Montville, se dégage entre 140° et 240°. Quant à l'eau de constitution, elle commence à s'échapper à 580°.

Schweitzérite de Zermatt. — La courbe III (fig. 5) indique que le dégagement de l'eau de constitution commence à 550°.

Bowénite du Turkestan chinois. — Sa courbe de déshydratation II (fig. 5) est très analogue à celle du chrysotile de Montville, c'est une droite à peu près parallèle à I jusqu'à 590°, abscisse du point anguleux. L'eau part d'abord lentement jusqu'à 620°, puis très rapidement ensuite.

Picrosmine de Windisch, Tyrol (N° 56.2). — La courbe de déshydratation dans le vide, de ce minéral, est à peu près parallèle à celle de l'antigorite de Tilly Foster, mais le point anguleux ne se produit, ici, qu'à 590°.

C. — SERPENTINES.

Serpentine d'Ambindavato, Madagascar (N° 131.198). — Cette roche renferme les veines du chrysotile étudié ci-dessus. Elle est constituée par deux parties : l'une vert clair et l'autre vert foncé.

La partie vert clair, déshydratée dans le vide, perd son eau de constitution à 530° (courbe VI, fig. 5).

Dans la zone vert foncé, l'étude dans le vide (courbe V, fig. 5) révèle la présence d'eau hygroscopique qui se dégage jusqu'à 140°. Entre 140° et 550°, la courbe est une droite de pente faible qui à 550° se redresse brusquement et indique un départ d'eau de constitution très rapide à partir de 640°. Cette courbe a été faite en utilisant 0 gr. 4881 de roche.

Les départs d'eau de constitution ont lieu pour ces échantillons dans un intervalle restreint, limité par les températures de 515° et 600°. Il est à noter que la schweitzérite, la métaxite et la roche vert foncé d'Ambindavato se déshydratent à la même température. Ce fait établit nettement que les constituants cristallins essentiels des serpentines sont identiques aux minéraux d'aspect spécial que l'on rencontre au milieu d'elles.

Il faut remarquer également qu'entre des minéraux appartenant au même groupe, on observe une différence de 75° entre les points de départ de l'eau (antigorite de Tilly Foster et d'Antigorio) et une différence de 40° entre les températures de déshydratation de deux minéraux de groupes différents (métaxite et bowénite), ce qui semble montrer que tous les échantillons se déshydratent de la même manière, à la même température, température cependant légèrement plus faible pour les minéraux et les roches du premier groupe.

1^{er} Groupe.

Antigorite de Tilly Foster.....	515°
Métaxite de Reichenstein.....	550°
Antigorite d'Antigorio.....	590°
Serpentine d'Ambindavato (vert clair)...	530°

2^e Groupe.

Chrysotile de Montville.....	600°
Chrysotile d'Ambindavato.....	580°
Schweitzérite de Zermatt.....	550°
Bowénite de Khotan.....	590°
Picrosmine de Windisch.....	590°
Serpentine d'Ambindavato (vert foncé)...	550°

La température moyenne de déshydratation est donc de 560°, c'est-à-dire inférieure de 100° à celle indiquée par l'analyse thermique différentielle. Une constatation identique a été faite par M. J. Orcel dans son étude de la déshydratation des chlorites (93). Cette différence s'explique aisément si on examine les courbes de déshydratation ; elles ne révèlent, en effet, un dégagement rapide de l'eau de constitution, pour les échantillons étudiés, qu'entre 620° et 640°, température très voisine de celle indiquée par l'analyse différentielle (650°). La petite quantité d'eau qui se dégage entre 550° et 650° part trop lentement et absorbe trop peu de chaleur pour être décelée par le galvanomètre différentiel beaucoup moins sensible que le dispositif de déshydratation dans le vide.

2. — Déshydratation quantitative dans le vide.

Le dispositif utilisé pour la construction des courbes de déshydratation a été employé également pour déterminer, par perte de poids, les teneurs en eau de constitution et en eau hygroscopique.

Déshydratation de l'antigorite de Tilly Foster. — Les détails de cette expérience ayant été donnés précédemment je rappelle seulement que la perte de poids totale s'élève à 14,08 %. D'autre part, la teneur en eau hygroscopique

étant de 2,80 %, la quantité d'eau de constitution est de 11,28 %.

Déshydratation du chrysotile de Montville. — Cette étude a été faite en utilisant un demi-gramme de substance coupée en fragments de 1 à 2 mm. de longueur; la pression initiale dans l'appareil était de 0 mm. 08.

Le minéral chauffé progressivement est maintenu à température constante jusqu'à ce que le niveau du mercure dans le manomètre ne traduise plus la moindre variation de pression. Chaque fois que la pression prend la valeur de quelques centimètres de mercure on établit à nouveau le vide initial. On chauffe de la façon suivante : 38 heures à 225°, 22 heures à 355°, 48 heures à 500° et 48 heures à 580°.

A ce moment la perte de poids du creuset est de 3,23 %. Or, la perte à 110° est de 0,77 %. Le poids de l'eau qui se dégage entre 110° et 580° est de 2,46 %. Cette eau doit être de l'eau d'adsorption et non de l'eau de constitution.

On place à nouveau la substance dans l'appareil, on fait le vide puis on chauffe 72 heures à 700°. Le minéral à ce moment a perdu 13,58 % de son poids. On continue l'expérience et au bout de 7 heures à 825°, une dernière pesée montre que le minéral a perdu 14,69 % de son poids. La perte au feu totale déterminée lors de l'analyse chimique est de 14,65 %.

Les deux résultats sont parfaitement concordants et montrent que l'on arrive à déshydrater complètement le chrysotile par simple calcination à l'air, à 700°. La quantité d'eau de constitution du chrysotile de Montville est donc de $(14,69 - 3,23 =) 11,43$ %.

Bowénite de Khotan. — Une prise d'essai de 0 gr. 6890 de bowénite, pulvérisée et tamisée au tamis 100, est placée dans un creuset de platine et introduite dans l'appareil. On

fait un vide de 0 mm. 01 dans l'enceinte, puis on chauffe progressivement. La température est maintenue constante jusqu'à ce que le niveau du mercure dans le manomètre ne traduise plus la moindre variation de pression.

La bowénite a été chauffée 24 heures à 225°, 24 heures à 350°, 48 heures à 415°, 72 heures à 575°.

Elle a subi une perte de poids de 0,81 %, cette même poudre, séchée à 110°, perd 0,26 % de son poids. La quantité d'eau se dégageant entre 110° et 575° est de 0,55 %. La même prise d'essai a de nouveau été chauffée dans le vide (0 mm. 1) pendant 24 heures à 700°. A ce moment on constate la présence de vapeur d'eau condensée, dans l'appareil, on chasse cette vapeur et on refait le vide primitif; puis on porte la substance pendant 7 heures à 850°.

Le manomètre paraissant alors parfaitement stable, on pèse et on constate que la perte totale est de 12,16 %. La quantité d'eau de constitution de cette bowénite est de 11,35 %.

Il y a lieu de remarquer que la poudre ayant servi à faire l'analyse chimique contenait plus d'eau hygroscopique que celle utilisée pour l'étude de la déshydratation dans le vide. Ceci peut s'expliquer facilement parce que l'étude chimique a été faite sur une poudre obtenue à partir d'un échantillon fraîchement scié.

En résumé, les résultats obtenus sont les suivants : la teneur en eau se dégageant à 560° est de 11,28 % dans l'antigorite de Tilly Foster, 11,43 % dans le chrysotile de Montville et 11,35 % dans la bowénite de Khotan.

L'étude quantitative de la déshydratation dans le vide montre que la teneur en eau de constitution est constante dans les divers minéraux des serpentines. A ce point de vue, il ne peut être faite aucune distinction entre les antigorites α et les antigorites β .

Les recherches précédentes montrent également que tous ces minéraux perdent leur eau en une seule fois. Or, Bragg attribue au chrysotile, d'ailleurs provisoirement, par analogie avec la trémolite, la formule structurale : $\text{Mg}^6 (\text{OH})^6 (\text{Si}^4 \text{O}^{11})$. $\text{H}^2 \text{O}$ qui met en évidence deux sortes d'eau ; la majeure partie possédant les caractères de l'eau de constitution, le reste ayant au contraire une plus grande mobilité.

Une nouvelle étude de la structure des chrysotiles est donc nécessaire, en tenant compte des données de la déshydratation.

Par contre, récemment, F. Syromiatnikoff a émis l'opinion que la majeure partie de l'eau (7 molécules) aurait le caractère zéolitique, une molécule seulement étant de l'eau de constitution. Rien dans mes recherches ne me permet de tirer semblable conclusion. Lorsqu'on suit la variation de la vitesse de déshydratation en fonction de la température, on constate que cette vitesse, d'abord faible, croît ensuite brusquement pour une petite élévation de température. Ce fait se retrouve d'ailleurs dans d'autres groupes de silicates et dans celui des hydrates cristallisés. C'est vraisemblablement l'interprétation inexacte de cette constatation qui est à la base de l'hypothèse de F. Syromiatnikoff.

D'ailleurs l'étude, à l'aide des rayons X, des variations de structure des antigorites au cours de leur déshydratation montrera que cette manière de voir n'est pas justifiée.

CHAPITRE IV

ÉTUDE, A L'AIDE DES RAYONS X, DES SERPENTINES ET DE LEURS PRODUITS DE CALCINATION

Les minéraux des serpentines ne se présentent pas en beaux cristaux maniables ; ils forment toujours des agrégats de fibres, souvent extrêmement fines, dont l'étude, à l'aide des rayons X, ne peut être faite qu'en utilisant la méthode des poudres de Debye et Scherrer. Cette étude comporte trois parties :

1° — Établir les diagrammes des minéraux appartenant aux deux groupes distingués par l'analyse thermique (antigorites α et antigorites β) afin de rechercher si ces minéraux présentent entre eux des différences de structure. Appliquer aussi cette méthode à quelques roches serpentineuses.

2° — Étudier les transformations subies par les antigorites α et β sous l'action de la chaleur et identifier leurs produits de calcination.

3° -- Enfin, tenter l'interprétation du phénomène exothermique, présenté à 750° par les antigorites α .

I. — ÉTUDE DES MINÉRAUX DES SERPENTINES

Le dispositif utilisé comporte un tube Phillips Métallix à filament, fonctionnant sous une tension de 40.000 volts, et dont l'anticathode est en cuivre. Le rayonnement $K\alpha = 1,537 \text{ \AA}$ est seul utilisé, $K\beta$ étant absorbé par un filtre de nickel. Le produit, finement pulvérisé, est fixé à l'aide d'un peu de colle autour d'un mince fil de verre. Celui-ci est maintenu verticalement au centre d'une chambre cylindrique dont la face intérieure est recouverte d'une pellicule photographique. Le centrage du fil supportant la poudre est effectué au moyen d'une petite lunette à réticule. Enfin, le pinceau de rayons X est délimité par un collimateur de 40 mm. de longueur et dont la face d'entrée, en plomb, présente un trou de 1 mm. de diamètre. Le temps de pose nécessaire à l'obtention d'un cliché est alors d'environ 4 heures.

Connaissant θ et la longueur d'onde λ du rayonnement (ici $K\alpha$ du cuivre) on applique la formule de Bragg : $2d \sin \theta = K \lambda$.

En supposant que toutes les raies obtenues correspondent à une réflexion du premier ordre, on peut déduire les différentes valeurs de d (distance des plans réticulaires exprimée en Angströms). Pour donner une idée plus exacte des diagrammes, l'intensité des raies est évaluée en utilisant les trois degrés d'appréciation suivants : Fort (F.), assez fort (A. F.) et faible (f.).

1. — Étude des diagrammes des antigorites α .

Tous ces minéraux ont été étudiés précédemment au point de vue chimique et thermique à l'exception d'une

« magnésite » de la Roche l'Abeille, Hte-Vienne.

La *métaxite de Reichenstein* fournit le diagramme suivant :

DISTANCE EN m/m D'UNE RAIE AU CENTRE	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN Å.
7,2	A. F.	5°24'	8,16
8,5	F.	6°22'	6,92
12,5	f.	9°22'	4,72
13,5	f.	10°7'	4,37
15,5	A. F.	11°37'	3,81
16,5	F.	12°22'	3,58
20	f.	15°	2,96
23,5	A. F.	17°37'	2,53
24,5	F.	18°22'	2,43
29	f.	21°45'	2,09
31,5	f.	23°37'	1,97
35	f.	26°15'	1,73
40	F.	30°	1,53
47,5	A. F.	35°37'	1,31
62	f.	46°30'	1,05
66,5	f.	49°52'	1
76	f.	57°	0,91
79	f.	59°15'	0,89

Le *picrolite du Val d'Aoste, Piémont*, donne un diagramme présentant un petit nombre de raies, les plus fortes du cliché précédent.

Celui obtenu avec l'*antigorite pseudo-cubique de Tilly Foster* est très peu net. Il faut donc penser que malgré son aspect extérieur, cet échantillon est assez mal cristallisé.

La *Deweylite du Sud de la Nouvelle-Calédonie* (N° 103.755), considérée jusqu'ici comme une substance presque entièrement colloïdale, donne un diagramme d'an-

tigorite. Toutefois, comme dans le cas du minéral de Tilly Foster, les raies nombreuses sont larges et floues. La deweylite est donc vraisemblablement formée par des cristaux d'une très grande finesse. Les réflexions observées correspondent aux équidistances : 8,16 — 6,92 — 4,72 — 4,37 — 3,58 — 2,53 (A. F.) — 2,43 (A.F.) — 2 — 1,69 — 1,53 — 1,32 (A. F.) — 1,05 — 1 — 0,89.

La *baltimorite* de *Baltimore, Maryland* (N° 91.39), contrairement aux deux minéraux précédents donne un diagramme X présentant des raies fines mais peu accentuées.

En résumé, les antigorites α sont caractérisées par le diagramme type suivant : 8,16 — 6,92 (F.) — 4,37 — 3,81 — 3,58 (F.) — 2,53 (A.F.) — 2,43 (F.) — 1,53 (F.) — 1,32 (A.F.) — 1,18 (A.F.) — 1 — 0,91 — 0,89 —

2. — Étude des diagrammes des antigorites β .

Parmi les minéraux de ce groupe, déjà examinés lors de l'étude chimique et thermique, il faut citer : la *métaxite* de *Comberousse près Saint-Colomban des Villards, Savoie* (N° 136.214), dont le diagramme montre des raies fines, mais peu nombreuses avec des réflexions faibles pour les plans $d = 1,53$ et $d = 1,32 \text{ \AA}$.

L'*antigorite* de *Zermatt* (N° 74.136), fournit un cliché net mais avec un petit nombre de raies correspondant aux intervalles réticulaires suivants : 8,16 — 6,92 (F.) — 5,61 — 5,04 — 3,58 (F.) 2,61 — 2,53 (F.) — 2,14 — 1,55 (A. F.).

La *bowénite* du *Turkestan chinois* donne un diagramme mettant en évidence de nombreuses raies fines et bien marquées, ainsi que le montre le tableau suivant :

DISTANCE EN m/m D'UNE RAIE AU CENTRE	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN Å
7,2	f.	5°24'	8,16
8,5	F.	6°22'	6,92
12,5	F.	9°22'	4,72
15,5	f.	11°37'	3,81
16,5	f.	12°22'	3,58
23,5	F.	17°37'	2,53
27,5	f.	20°37'	2,18
39,5	A. F.	29°37'	1,55
40	A. F.	30°	1,53
42,5	f.	31°37'	1,44
47,5	A. F.	35°37'	1,31
52	f.	39°	1,22
60	f.	45°	1,08
61,5	f.	46° 7'	1,06
64,5	f.	48°22'	1,02
66,5	f.	59°52'	1
70,5	f.	52°52'	0,96
74	f.	55°30'	0,93
78	f.	58°30'	0,90

Parmi les autres antigorites β on peut citer deux chrysotiles l'un de *Montville* et l'autre de *Thetford*. Ces deux minéraux ont été pulvérisés aussi finement que possible en découpant un petit paquet de fibres à l'aide d'un microtome. Le cliché obtenu avec le chrysotile de Montville montre des raies nombreuses et bien marquées, mais assez larges pour la plupart, elles correspondent aux valeurs suivantes de d : 8,16 (A. F.) — 6,92 (F.) — 4,37 — 3,81 (A. F.) — 3,58 (F.) — 2,53 (A. F.) — 2,43 (A. F.) — 2,04 — 1,79 — 1,71 — 1,52 (F.) — 1,44 — 1,30 (A. F.) — 1,19 — 0,97 — 0,91 — 0,89 — 0,88.

Le diagramme de poudre fourni par le minéral de Thet-

ford montre des anneaux continus mais toutes les raies sont larges et floues comme dans le cliché précédent.

Enfin à ce type d'antigorites β appartiennent deux « picrosmine » de Windisch-Matrey, Tyrol. L'un N° 56.2 dont le spectre montre des raies assez fines mais peu nombreuses.

Et l'autre N° 56.16 dont le diagramme révèle un plus grand nombre de réflexions :

DISTANCE EN m/m. D'UNE RAIE AU CENTRE	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN Å
7,2	f.	5°24'	8,16
8,5	F.	6°22'	6,92
15,5	f.	11°37'	3,81
16,5	F.	12°22'	3,58
22	f.	16°30'	2,71
24,5	F.	18°22'	2,43
25,7	f.	19°22'	2,31
29	A. F.	21°45'	2,09
34,5	f.	25°52'	1,76
36	f.	27°	1,69
40,5	A. F.	30°22'	1,52
43,5	f.	32°37'	1,42
47,5	f.	35°37'	1,32
55,5	f.	41°37'	1,15
56,5	f.	42°22'	1,14
66,5	f.	49°52'	1

En résumé, les antigorites β ont un spectre de diffraction des rayons X caractérisé par les espacements suivants des plans rectangulaires : 8,16 — 6,92 (F.) — 3,81 — 3,58 (F.) — 2,53 — 2,43 (F.) — 1,53 (F.) — 1,32 — 1, — 0,91.

Les diagrammes des antigorites α et β sont identiques. Seule la réflexion correspondant au plan $d=1,18$ est un peu plus faible dans le cas des antigorites β . Les spectres

de Debye et Scherrer ne permettent donc d'établir aucune différence entre les deux types d'antigorites.

3. — Étude des diagrammes des serpentines.

Toutes les roches examinées appartiennent au groupe 3.

La première provient du Col d'Amiante dans le massif des *Sept Laux au Sud d'Allevard* (N° 120.31). Cette serpentine dite « colloïdale » est en effet constituée par une masse isotrope. Toutefois, le cliché suivant montre de nombreuses raies.

DISTANCE EN m/m. D'UNE RAIE AU CENTRE	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN Å.
—	—	—	—
7,2	A. F.	5°24'	8,16
8,7	A. F.	6°31'	6,77
11,5	f.	8°37'	5,13
12,7	f.	9°31	4,64
15,5	A. F.	11°37'	3,81
16,5	F.	12°22'	3,58
21,5	f.	16°7'	2,76
25	f.	18°45'	2,39
30	f.	22°30'	2
36,5	f.	27°22'	1,67
40,5	f.	30°22'	1,52
44,5	f.	33°22'	1,39
48	A. F.	36°	1,30
63,5	f.	47°37'	1,04
78,5	f.	58°52'	0,89

Cette roche est donc formée d'éléments cristallins et son diagramme est celui d'une antigorite, toutefois la seconde réflexion correspond à un espacement de 6,77 au lieu de 6,92.

La *serpentine du mont Marcolinco, Corse*, fournit un diagramme extrêmement flou où il n'est possible de pointer qu'un très-petit nombre de raies.

Enfin la roche jaune contenant le chrysotile de *Montville* donne de nombreuses raies correspondant à des réflexions sur les plans réticulaires présentant les espacements suivants : 8,16 — 6,92 (F.) — 4,72 — 4,32 (A. F.) — 3,81 — 3,58 (F.) — 2,76 — 2,53 — 2,43 — 2,04 — 1,69 — 1,53 (F.) — 1,47 — 1,33 — 1,30 — 1,18 — 1 (A. F.) — 0,92 (A. F.) — 0,89 (A. F.) Ångströms.

Le réseau du constituant essentiel des roches serpentineuses est caractérisé par les espacements suivants exprimés en Ångströms : 8,16 — 6,92 (F.) — 3,81 — 3,58 (F.) — 2,76 — 2,53 — 2,43 (F.) — 1,67 — 1,53 (F.) — 1,30 (A. F.) — 1,18 — 1.

Le diagramme d'une serpentine ne diffère donc de celui des minéraux du type α et β que par la présence de réflexions correspondant aux plans $d = 2,76$ et $d = 1,67$. Cette différence n'est pas fondamentale car ces deux raies sont faibles et existent d'ailleurs dans certains spectres de minéraux.

En résumé, les minéraux des serpentines ont bien un réseau commun caractéristique et la différence mise en évidence par l'analyse thermique entre les antigorites α et β n'apparaît pas dans les diagrammes. De plus, il n'y a aucune différence entre les constituants des roches serpentineuses et les minéraux du groupe de la serpentine.

II. — ÉTUDE DES PRODUITS DE CALCINATION

Cherchant toujours à préciser la cause de la différence de comportement thermique entre les antigorites α et β j'ai

suivi pour chacune d'entre elles, à l'aide des rayons X, la nature des modifications qu'elles subissent sous l'action de la chaleur.

**1. — Étude des transformations
subies pendant l'échauffement par les antigorites α .**

J'ai étudié aussi minutieusement que possible les transformations de deux antigorites α typiques : antigorite de Tilly Foster et métaxite de Reichenstein, puis j'ai déterminé sur plusieurs autres échantillons la nature des produits ultimes de la calcination (20).

L'*antigorite de Tilly Foster* chauffée dans le vide (0 mm. 12 de mercure) pendant 322 heures à 640°, puis pendant 7 heures à 720° est entièrement déshydratée et ceci à une température inférieure à celle du phénomène exothermique. Elle fournit alors un diagramme X où n'apparaît plus aucune raie. Après le départ de l'eau, la substance de composition chimique $\text{Si}^2 \text{O}^7 \text{Mg}^3$ est donc amorphe. Immédiatement après le phénomène exothermique (855°) le produit amorphe recristallise et le diagramme, d'une remarquable netteté, est celui d'un mélange d'enstatite et d'olivine⁽¹⁾. On constate donc que dès 855°-890° le corps amorphe ($\text{Si}^2 \text{O}^7 \text{Mg}^3$) cristallise en olivine et enstatite qui apparaissent simultanément. Le spectre de l'olivine est plus caractéristique et peut être reconnu qualitativement par comparaison directe avec un spectre témoin d'olivine.

L'identification du spectre de l'enstatite nécessite la

(1) Le terme d'olivine employé dans ce travail désigne en réalité l'orthosilicate magnésien ; la forstérite ; de même celui d'enstatite désigne le métasilicate magnésien.

mesure du diagramme. Les clichés obtenus avec les produits de calcination à 1000° et à 1390° n'offrent aucun changement avec le précédent ; les raies sont fines, nettes et très nombreuses. Il ne se produit donc plus aucune transformation entre 890° et 1390° .

La *métaxite de Reichenstein, Silésie*, chauffée dans le vide (0 mm. 02 de mercure) pendant 77 heures perd 12,63 % d'eau et fournit alors un diagramme où les raies sont déjà faibles et peu nombreuses, mais correspondent, cependant, à des réflexions sur des plans réticulaires du minéral primitif. Après perte de 13,18 % d'eau, à 650° , le diagramme X s'affaiblit encore, mais les cinq raies qui peuvent être pointées correspondent toujours à des réflexions sur des plans du minéral initial. A 675° , les raies, au nombre de trois seulement, sont extrêmement floues et après chauffage à 720° , il n'existe plus sur le cliché que quelques ombres très vagues dont le pointage est impossible.

Cette étude des produits de déshydratation de l'antigorite montre que le départ de l'eau s'effectuant entre 560° et 720° entraîne l'effondrement de l'édifice cristallin du minéral. Cette destruction progressive du réseau aboutit après complète déshydratation à la formation du produit $\text{Si}_2\text{O}_7\text{Mg}^3$ amorphe. L'examen des produits de déshydratation de la métaxite montre, d'autre part, que le réseau se détruit peu à peu sans subir aucune modification. Sur les clichés obtenus avec la substance presque entièrement déshydratée, il est possible d'observer encore, mais en petit nombre, des réflexions correspondant à des plans de métaxite non chauffée. Pendant le départ de l'eau, il se produit donc un effondrement sans modification du réseau primitif. Dans les deux exemples envisagés, après calcination à 900° , le produit est bien cristallisé, les raies sont nombreuses et fines. Elles correspondent toutes à des réflexions sur des

plans différents de ceux de l'antigorite et se confondent avec celles d'un mélange d'olivine et d'enstatite. J'ai examiné, en outre, les produits de transformation obtenus avec quelques autres antigorites.

L'*antigorite du Val d'Antigorio* (N° 108.1033). Après calcination pendant 45 minutes à 860° le cliché montre déjà d'assez nombreuses raies, du mélange d'olivine et d'enstatite.

De même, l'*antigorite de Snarum*, chauffée à 875° se transforme en un mélange d'olivine et d'enstatite et après calcination à 1370° le spectre X reste identique.

Enfin on observe la même transformation avec la *deweylite de la Nouvelle-Calédonie* (N° 103.755) après chauffage à 1100°.

2. — Étude des produits formés au cours de la calcination des antigorites β .

Comme antigorites β typiques, j'ai choisi le chrysotile de Montville et la bowénite du Turkestan chinois, qui ont été soigneusement étudiés précédemment. Je suivrai, comme dans le cas des antigorites α , les modifications qu'ils subissent sous l'action de la chaleur.

Le *chrysotile de Montville* — Chauffé pendant 72 heures dans le vide (0 mm. 03 de mercure) à 645° il perd 13.66 % d'eau. Dès cette température il subit une modification très profonde. En effet, son diagramme X présente des raies bien marquées et fines qui sont déjà celles d'un mélange d'enstatite et d'olivine, alors que les antigorites α chauffées à la même température (métaxite de Reichenstein) donnent un spectre extrêmement flou montrant seulement quelques raies de la serpentine primitive.

Les diagrammes du chrysotile calciné à 930° et à 1370°

sont analogues à celui du produit chauffé à 645°; ils présentent les mêmes raies, mais elles sont plus accusées et plus nombreuses.

CHRYSOTILE DE MONTVILLE	CALCINÉ A 650°	CALCINÉ A 930°	CALCINÉ A 1370°.	OLIVINE	ENSTATITE
8,16 (A.F.)					
6,92 (F.)	5,13	4,91	4,91		
4,37	4,02	4,02	4,02	4,02	
3,81		3,81	3,81		
3,58 (F.)	3,58	3,58	3,58	3,58	
			3,48	3,48	
			3,12 (F.)		3,12 (F.)
	2,90	2,90	2,90	2,90 (A.F.)	
			2,87	2,87	2,87 (A.F.)
			2,76 (F.)		
	2,70		2,70 (F.)		2,70
		2,59		2,59 (F.)	
2,53 (A.F.)	2,48 (F.)	2,53 (F.)	2,53 (F.)	2,48 (F.)	2,48 (A.F.)
2,43 (A.F.)	2,43 (A.F.)	2,43 (F.)	2,43 (F.)		
	2,22	2,26	2,26 (F.)	2,26 (A.F.)	
	2,14	2,14	2,14		2,10 (A.F.)
2,04					
	1,94	1,94	1,97 (A.F.)	1,97	1,97
	1,73 (F.)	1,75 (F.)	1,75 (F.)	1,76 (F.)	1,73
	1,67	1,67	1,67		
	1,63	1,65	1,65		
	1,57	1,57	1,57		
1,52 (F.)	1,52	1,50 (A.F.)	1,50 (F.)	1,50 (A.F.)	
	1,48 (A.F.)	1,47 (A.F.)	1,48 (F.)		1,47 (A.F.)
1,44					
	1,41 (A.F.)			1,41 (A.F.)	1,41 (A.F.)
		1,39 (A.F.)	1,39 (A.F.)		
	1,35 (A.F.)	1,35 (A.F.)	1,35 (A.F.)	1,37 (A.F.)	
	1,31	1,31 (A.F.)	1,31 (A.F.)		
1,30 (A.F.)					1,30
1,19	1,17	1,19	1,19	1,18 (A.F.)	1,18 (A.F.)
	1,14		1,14		
			1,12		
	1,11	1,10	1,10		
			1,09		
		1,07	1,07		1,07
			1,06		
	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05
			1,03		
			1,01		1

Avec la *bowénite* du *Turkestan*, on obtient les résultats suivants : maintenue pendant 27 heures dans le vide (0 mm. 03 de mercure) à 610° la bowénite perd 3,13 % d'eau, mais fournit encore un diagramme de serpentine. Les raies sont cependant affaiblies et un peu moins nombreuses. Après 74 heures de chauffage à la même température (610°) et perte de 8,79 % d'eau, les raies de la serpentine s'estompent et il apparaît en même temps, sur le diagramme, quelques raies de l'olivine et de l'enstatite. Maintenu à 620° pendant 8 heures le minéral perd 9,58 % d'eau et son spectre présente, comme le précédent, à la fois les raies de l'antigorite de plus en plus floues et celles de l'enstatite et de l'olivine qui se précisent. Chauffée à 630° la bowénite perd 11,42 % d'eau et donne uniquement les raies de l'enstatite et de l'olivine. Le même diagramme est obtenu avec la substance calcinée à 1370°.

L'identification des produits ultimes de calcination a encore été effectuée sur la *métaxite* de *Comberousse* (N° 136.214), chauffée à 1070°, et sur la *schweitzérite* de *Zermatt* (N° 69.52), calcinée à 1040° et à 1370°.

L'étude de ces minéraux montre que le départ de l'eau des antigorites β entraîne l'effondrement du réseau cristallin initial. Cette destruction se fait progressivement et on n'observe pas, durant la déshydratation, de variation dans la distance des plans réticulaires de l'antigorite. D'autre part, les produits de calcination des serpentines α et β sont identiques ; il se forme, dans l'un et l'autre cas, un mélange d'enstatite et d'olivine. Il y a cependant une différence entre ces deux types de minéraux. En effet, alors que dans les antigorites α on suit la destruction progressive du réseau qui accompagne le départ de l'eau et aboutit vers 720° à une phase amorphe, dans les antigorites β , il n'est pas possible de mettre ce stade en évidence. Dès 610°, quand l'antigorite

β a perdu quelques % d'eau seulement, la destruction de son réseau commence, mais si le chauffage à cette même température est un peu prolongé, on assiste non seulement à la disparition de l'antigorite, mais simultanément à la cristallisation d'olivine et d'enstatite. Après calcination à 620° on retrouve les raies très faibles de l'antigorite, mais à ce spectre se superpose celui de l'ortho et du métasilicate de magnésie.

On peut donc conclure que la cristallisation du mélange d'olivine et d'enstatite s'opère à une température bien inférieure à celle de la fusion de la serpentine (32) et sans qu'il soit nécessaire, contrairement à ce que pensaient Dautrée (32), Clarke et Schneider (27), de calciner longtemps.

D'autre part, cette recristallisation s'effectue en un seul stade et non en deux phases comme l'indique H. Haraldsen (57) dans son étude sur l'antigorite de Snarum. Cet auteur pense en effet, qu'il se forme :

- 1) de l'olivine plus de la silice amorphe
- 2) disparition de la moitié de l'olivine et de la totalité de la silice et formation d'enstatite.

Rien dans l'étude des courbes thermiques et des diagrammes X ne me permet de confirmer cette opinion.

Enfin très récemment j'ai eu connaissance d'un travail de F. Syromiatnikoff (106) relatif au rôle de l'eau dans les chrysotiles-asbestes. F. Syromiatnikoff conclut que très peu d'eau participe à la formation de l'édifice de l'antigorite. Sur les huit molécules se dégageant au-dessus de 110°, une seule serait de l'eau de constitution. Cette conclusion ne s'accorde pas avec mes résultats car j'ai pu suivre progressivement la destruction du réseau cristallin pendant toute la déshydratation. Je considère donc que toute l'eau se dégageant au-dessus de 560° est de l'eau de constitution. J'ai essayé de suivre au microscope, les transformations mises en évidence par

l'étude aux rayons X. Je dois indiquer que j'ai toujours obtenu un produit nettement biréfringent même avec la poudre « amorphe » provenant de l'antigorite de Tilly Foster entièrement déshydratée à 720° ; d'autre part, je n'ai pu distinguer les deux constituants provenant de la recristallisation : enstatite et olivine. On conçoit aisément que chaque grain de la poudre est un mélange intime de ces deux minéraux, et qu'il est illusoire de vouloir en déterminer les propriétés optiques.

3. — Interprétation du phénomène exothermique présenté par les antigorites α .

L'analyse thermique et l'étude des diagrammes X permettent donc de saisir une différence entre les antigorites α et les antigorites β . En rapprochant les indications données par ces deux méthodes d'investigation, on peut interpréter le phénomène exothermique présenté vers 750° par le premier groupe. Dans ces antigorites le réseau cristallin disparaît entièrement pendant la déshydratation. Cette destruction de l'antigorite α correspond au phénomène endothermique et aboutit à 720° avant le crochet exothermique à la formation du corps amorphe de composition $\text{Si}^2\text{O}^7\text{Mg}^3$.

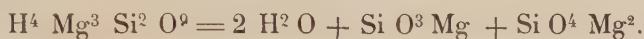
On peut donc représenter cette transformation par l'équation suivante :



Immédiatement après le phénomène exothermique, vers 850°, la substance amorphe cristallise brusquement en un mélange d'olivine et d'enstatite. On peut donc écrire :



Dans les antigorites β le phénomène de regroupement des atomes commence plus tôt, dès 610° et se produit en même temps que se continue la déshydratation. On peut écrire la réaction :



Cette différence de comportement des deux variétés d'antigorites correspond sans doute à une différence de structure ; toutefois rien dans l'étude des diagrammes de Debye et Scherrer ne permet de vérifier cette hypothèse.

CHAPITRE V

MINÉRAUX DES SERPENTINES A FACIES ABERRANT

L'examen des silicates fibreux appartenant à des familles voisines de la serpentine, m'a permis de trouver un certain nombre de minéraux dont la composition chimique est celle de l'antigorite, mais dont les caractères extérieurs sont ceux d'un autre groupe. A ces minéraux appartiennent la « *magnésite* » de *Goujot, Vosges* (N° 99.787). Cette dernière constitue une croûte blanche autour d'un noyau de serpentine. Tantôt compacte, et tantôt granuleuse, elle donne toujours une même courbe thermique présentant une inflexion endothermique à 620° suivie immédiatement d'un phénomène exothermique.

Une courbe identique est fournie par le minéral blanc entourant les boules fibrolamellaires de magnétite de *Monnowin, Sudbury, Ontario* (N° 136.241), décrites par E. S. Moore (88). J'ai également trouvé d'assez nombreux exemples d'antigorites parmi les asbestes. Il en est ainsi des minéraux suivants :

Antigorite de Lans-le-Bourg, Maurienne (N° 136.202). — Échantillon fibreux, vert clair, à éclat soyeux, que l'on trouve associé à la calcite. Après lavage à l'acide chlorhydrique dilué et froid il donne une courbe thermique caractéristique des antigorites α .

Une courbe identique est fournie par une *antigorite* de *Saint-Martin de Fressengeas* près *Thiviers* (N° 136.201), minéral blanc verdâtre qui doit résulter de l'action des eaux superficielles sur une métaxite.

Un autre échantillon intéressant, récolté par *M. Rivet* près des sources de la *Mogléna*, environs de *Salonique* (N° 118.35), est formé par des parties xyloïdes vert foncé passant progressivement à des zones plus claires, puis à des plaques papyracées d'un blanc très légèrement verdâtre. La composition chimique des parties claires (analyse 46) et foncées (analyse 47) est sensiblement la même.

	46.	47.	48.	49.
SiO ²	47,15	47,73	40,41	42,50
Al ² O ³	0,24	0,97	0,29	0,49
Fe ² O ³	3,07	2,90	0,77	1,46
FeO	3,89	3,62	0,50	0,16
CaO	9,31	6,67	0,84	0,39
MgO	28,94	31,16	39,70	41,01
H ² O	— 0,54	0,41	2,41	0,73
	+ 6,49	6,61	14,68	13,08
	99,63	100,07	99,60	99,85

Les courbes d'analyse thermique de ces deux variétés sont semblables. Toutes les deux mettent en évidence une inflexion endothermique à 680° suivie vers 850° d'un phénomène exothermique faible. Étant donné sa teneur en eau, cet échantillon ne doit pas être considéré comme une antigorite pure mais comme un mélange d'antigorite et d'amphibole asbeste.

L'« *Asbeste* » de *Chypre* (N° 119.273) est une antigorite α typique ainsi que celle de *Johangeorgestadt* (N° 136.203). Comme autre exemple d'antigorite mettant en évidence le phénomène lumineux vers 750°, on peut citer :

le « minéral » associé à la serpentine de Findelen, Zermatt (N° 117.57), mou, blanc, est une forme altérée de la serpentine sous-jacente, verte et compacte, de même celui de Hohen Riffel, Stubachthal (N° 136.182) donné au Muséum par M. le Colonel Vésigné. Enfin, j'insisterai plus longuement sur une « asbeste » du Saint-Gothard (N° 36.59) (18) qui possède le facies d'une palygorskite. Ce minéral en plaque blanche onctueuse au toucher se laisse facilement déchirer en bandes minces remarquablement extensibles. Il n'est malheureusement pas possible d'y tailler de plaque mince, permettant une étude microscopique complète. L'examen d'une coupe, faite au microtome, montre que la structure intime de ce minéral se résout en un enchevêtrement de fibres cristallines d'une largeur moyenne de 0 mm. 003. Sa densité est de 2,83, et l'analyse chimique conduit à la formule 2SiO_2 , 2,9 MgO , 2,3 H_2O .

La courbe thermique du minéral est celle d'une antigorite α typique, le phénomène lumineux s'observe facilement au cours de la calcination, après laquelle la substance est dure et cassante. Le spectre de Debye et Scherrer est bien caractéristique des antigorites, il est formé de nombreuses raies, mais elles sont toutes larges et floues.

Cette étude montre donc que ce curieux minéral est une antigorite α et l'on voit, par cet exemple, combien est fragile la notion de facies.

A ce groupe, il faut encore rattacher une « magnésite » de la Roche l'Abeille. Ce minéral blanc possède une texture granuleuse et se rapproche beaucoup par ses caractères extérieurs de certaines sépiolites (magnésites) du bassin de Paris. Cependant sa courbe thermique est celle d'une antigorite α . D'ailleurs sa composition chimique (analyse 49) peut être représentée par la formule : 2SiO_2 , 2,8 MgO , 2 H_2O . En plaque mince, ce minéral montre une structure

en rubans parallèles d'inégales largeurs. Chacun de ces rubans est constitué par un assemblage de fibres perpendiculaires à l'allongement. Cette structure fibreuse ne s'observe bien qu'en utilisant l'immersion avec un grossissement de 800 environ. Le diagramme de cet échantillon est le suivant : 8,16 — 6,92 (F.) — 4,91 — 4,37 — 3,81 — 3,58 (F.) — 2,53 (A. F.) — 2,43 (F.) — 2,09 — 1,73 — 1,71 — 1,53 (F.) — 1,50 — 1,47 — 1,44 — 1,32 (A. F.) — 1,23 — 1,18 — 1,05 — 1 — 0,96 — 0,93 .

De l'étude optique, chimique, thermique et de l'examen aux rayons X on peut conclure que cette prétendue « magnésite » est en réalité une antigorite. D'ailleurs, une observation minutieuse de l'échantillon permet d'apercevoir au centre un noyau de serpentine verte dans lequel pénètrent des veinules de la substance blanche qui doit être considérée comme une serpentine décolorée par des actions de surface.

**REMARQUES
SUR QUELQUES SILICATES MAGNÉSIENS
A FACIES ASBESTIFORME OU PAPYRACÉ
N'APPARTENANT PAS
AUX MINÉRAUX DES SERPENTINES**

Au cours de l'étude des chrysotiles, j'ai eu la chance de rencontrer, parmi les échantillons classés sous ce nom dans la collection du Muséum, un très beau spécimen provenant d'Ampandrandava, Madagascar (13), dont l'étude physico-chimique m'a démontré son identité avec la sépiolite (19).

J'ai donc été conduite tout naturellement, dès le début de mes recherches, à étudier les silicates magnésiens appartenant à des groupes voisins de celui de la serpentine et présentant des facies spéciaux tels que les sépiolites,

les asbestes et les palygorskites. On ne possédait en effet que peu d'analyses de ces minéraux, leurs caractères physico-chimiques étaient mal connus et il m'est apparu qu'il était possible de trouver, parmi eux, de véritables antigorites comme le minéral papyracé du Saint-Gothard m'en avait fourni un exemple.

Dans ces recherches, l'analyse thermique différentielle s'est révélée un moyen d'investigation rapide mettant en évidence les cas anormaux.

Dans un mémoire ultérieur j'exposerai les résultats de ce travail : toutefois je signalerai ici les échantillons les plus curieux.

Aux sépiolites appartiennent le minéral d'*Ampandrandava, Madagascar* (N° 131.178), la sépiolite asbestiforme provenant des environs d'*Antsirabe* (N° 136.171), les *palygorskites* du *M^t Bity* (N°s 122.221 et 122.222) (73), celle de *Tsilaisina* (N° 113.393), l'« asbeste » de *Madriat en Sis-trière, Haute-Loire* (N° 96.413), et la *pilotite* de *Portsoy, Écosse* (N° 24.47).

J'indiquerai parmi les palygorskites le minéral du *Vigan, Gard* (N° 100.155), la *lassalite* de *Miramont, Haute-Loire* (N° 101.295), le *carton de montagne* d'*Odivellas, Portugal* (N° 1105). Enfin il faut signaler encore un minéral de facies palygorskitique provenant de *La Table près Allevard (Isère)* dont la composition chimique se rapproche beaucoup de celle d'une argile kaolinique.

CHAPITRE VI

LES PRÉTENDUES « ANTIGORITES FERRIFÈRES »

Quelques silicates hydratés de fer et de magnésie (bowlingite et xylotile) ont été considérés, jusqu'à présent, d'après leurs caractères microscopiques, comme des types ferrifères d'antigorite et de chrysotile. Leur analyse thermique m'ayant fourni des résultats différents de ceux obtenus avec ces minéraux, il m'a paru nécessaire d'en reprendre l'étude complète.

I. — LA SAPONITE (BOWLINGITE).

La bowlingite a été décrite par J. B. Hannay (56) qui se basa pour en faire une nouvelle espèce sur une analyse inexacte ; puis Heddle (60) en reprit l'étude chimique et constata que sa composition était celle d'une saponite. Depuis, certains auteurs, avec M. A. Lacroix (72), s'appuyant sur l'analogie remarquable de ses propriétés optiques avec celles des minéraux des serpentines, l'ont considérée comme une antigorite ferrifère. Il était donc intéressant de préciser les caractères spécifiques de ce silicate à l'aide d'autres méthodes (21).

La bowlingite n'est connue que dans très peu de gise-

ments; on la trouve en masse ayant une individualité marquée seulement en Écosse, dans les fentes d'un basalte. Les deux échantillons étudiés, recueillis par M. A. Lacroix, appartiennent à la collection du Muséum et proviennent de ces gisements.

En pétrographie M. A. Lacroix et les minéralogistes français donnaient le nom de bowlingite au minéral provenant de l'altération des périclites des basaltes mais ce minéral devant avoir la composition d'une antigorite riche en fer devra être désigné, de préférence, par le terme iddingsite.

Saponite (Bowlingite) de Catkin Hill, près Glasgow (N° 95.349). — Elle se présente en masse xyloïde, jaune verdâtre foncé. Entre les rangées de fibres, on trouve une petite quantité de calcite dont il est facile de se débarrasser par lavage à l'acide chlorhydrique dilué (5 %) et froid. La courbe d'analyse thermique du produit ainsi purifié présente trois crochets endothermiques vers 150°, 580° et 750° (courbe II, fig. 6). La densité est de 2,30.

En plaque mince, le minéral est brun jaunâtre, faiblement polychroïque, les fibres présentent un allongement positif et une extinction droite. Les indices ont pour valeurs : $n_g = 1,55$ et $n_p = 1,54$. Après calcination à 1000°, le produit devient magnétique. La composition chimique est la suivante (analyse 50.).

	50.	51.	52.	53.
Si O ²	41,66	39,37	40,04	38,49
Al ² O ³	9,55	8,11	6,76	5,05
Fe ² O ³	5,69	5,94	9,29	10,59
Fe O	4,20	7,36	2,38	3,23
Ca O	0,29	0,69	2,27	2,83
Mg O	20,14	21,47	19,13	19,45
Ti O ²	0,32	0,07	0,41	»
H ² O —	9,79	7,69	11,91	13,52
+	8,08	9,23	7,84	6,43
	99,72	99,93	100,03	99,59

Elle correspond à la formule : 5 Si O_2 , $(\text{Al}, \text{Fe})^2 \text{ O}_3$, $5 (\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{O}$, $4 \text{ H}^2 \text{ O}$.

Le diagramme de Debye ne présente qu'un petit nombre de raies, elles sont floues et difficiles à pointer; toutefois en opérant attentivement on peut en déduire les équidistances d : 4,37 — 3,38 — 2,90 (A. F.) — 2,56 — 2,08 — 1,71 — 1,52 — 1,32 — 1,19.

Le produit calciné à 1.000° donne un diagramme X différent avec des raies fines et nettes.

Après calcination à 1270° la poudre fournit un spectre identique au précédent mais avec des raies plus accentuées. Voici les différentes valeurs des espacements réticulaires : 3,12 — 2,90 (A.F.) — 2,87 (A.F.) — 2,48 (F.) — 2,08 — 1,61 (A.F.) — 1,47 (A.F.) — 1,39 — 1,27 — 1,11 — 0,92 exprimés en Ångströms.

Saponite (Bowlingite) de Blackburn (N° 99.726). — C'est un minéral xyloïde brun verdâtre à éclat moiré, onctueux au toucher et dont la poudre est jaune verdâtre. La courbe d'analyse thermique (courbe I, fig. 6) présente, comme celle du minéral de Catkin-Hill, les trois inflexions : vers 150° , 580° et vers 750° . La densité est de 2,19 et les indices ont pour valeur 1,55 et 1,54. La biréfringence est voisine de celle des antigorites, l'allongement des fibres est positif et l'extinction droite.

L'analyse chimique (51) conduit à la même formule que précédemment soit 5 Si O_2 , $(\text{Al}, \text{Fe})^2 \text{ O}_3$, $5 (\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{O}$, $4 \text{ H}^2 \text{ O}$.

Le diagramme X (voir p. 118) présente les mêmes raies que celui obtenu avec la bowlingite de Catkin-Hill; les intensités des raies sont fort analogues dans les deux diagrammes.

Chauffé à l'air à 610° , c'est-à-dire à une température supérieure à celle du premier départ d'eau de constitution, pendant 156 heures, le minéral perd la presque totalité de

son eau 16, 25 %. Le diagramme obtenu avec cette poudre montre de nombreuses raies du produit primitif ; toutefois, il apparaît un premier anneau correspondant à $d = 9,06$ non observé avant la calcination.

DISTANCE EN m/m DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
12,5	f.	9°22'	4,72
13,5	f.	10° 7'	4,37
17,5	f.	13° 7'	3,38
20,5	A. F.	15°22'	2,90
23,5	f.	17°37'	2,53
24	f.	18°	2,48
35,5	f.	26°37'	1,71
40,5	F.	30°22'	1,52
47,5	f.	35°37'	1,32
53,5	f.	40° 7'	1,19
60,5	f.	45°22'	1,07
67	f.	50°13'	0,99
75,5	f.	56°37'	0,92

Le spectre X du produit calciné à 715° présente encore plusieurs raies du minéral initial et en comporte deux supplémentaires voisines du centre correspondant aux plans d'écartement $d = 10 \text{ Å},71$ et $d = 9 \text{ Å},06$.

A 810° la substance a déjà recristallisé ; les raies peu nombreuses et floues peuvent être rapportées à l'enstatite à l'exception des deux premières observées après chauffage à 715°.

Chauffée à 910°, la poudre devient faiblement magnétique et donne un spectre dont toutes les raies sont celles de l'enstatite. Les deux premiers anneaux observés dans les deux diagrammes précédents ont complètement disparu.

Le produit de calcination à 1100° donne un spectre identique à celui de la bowlingite de Glasgow, calcinée à la même température. Ces diagrammes peuvent être identifiés à celui de l'enstatite dans lequel certaines raies seraient renforcées. Ce renforcement est dû à la superposition de raies appartenant au spectre de la magnétite ainsi que le montre le tableau suivant :

BOWLINGITE DE BLACKBURN CALCINÉE 1100° d EN Å.	ENSTATITE d EN Å.	MAGNÉTITE d EN Å.
—	—	—
3,12 (A.F.)	3,12	
2,87 (F.)	2,87 (A.F.)	2,90
1	2,70	
2,48 (F.)	2,48 (A.F.)	2,48 (F.)
2,09	2,10	2,22
		2,10
1,97	1,97	
1,78		
1,69		
1,61		1,61
1,47	1,47	1,47
1,41		
1,30	1,30	1,33
	1,26	
	1,21	
1,18		1,18

La bowlingite après chauffage à 1100° est transformée en un produit cristallin composé d'enstatite et de magnétite. Cette identification est en accord avec les propriétés magnétiques de la poudre.

En résumé, après le départ complet de l'eau, la structure de la bowlingite disparaît. La composition du produit

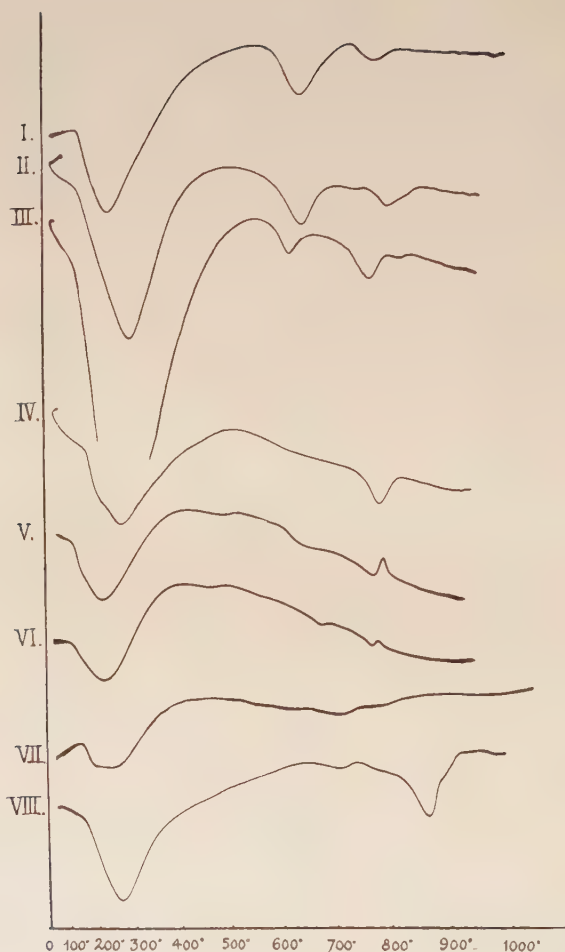
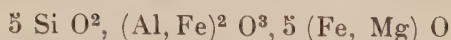


Fig. 6. — *Courbes des prétendues antigorites ferrifères* ; I. Bowlingite de Blackburn ; II. Bowlingite de Glasgow ; III. Saponite de Catkin-Hill ; IV. Diabantite de Bergen Hill ; V. Xylotile de Schneeberg ; VI. Xylotile de Brenner ; VII. Xylotile de Sterzing ; VIII. Xylotile de Farafate.

résultant de la déshydratation peut être représenté par la formule :



Ce produit chauffé recristallise progressivement entre 810° et 1100° en un mélange d'enstatite et de magnétite. Je me propose dans un travail ultérieur de compléter cette étude de la déshydratation de la bowlingite, mais on peut dès maintenant conclure, de l'ensemble des résultats précédents, que ce minéral est différent de l'antigorite. Par contre il est facile, en comparant les propriétés des bowlingites avec celles d'une saponite typique, d'établir la similitude complète de ces minéraux.

Saponite de Catkin-Hill (N° 99.55). — Cet échantillon brun noirâtre possède un éclat gras, une cassure conchoïdale. Il est onctueux au toucher, sa poussière est brun jaunâtre. La courbe d'analyse thermique (courbe III, fig. 6) présente trois inflexions endothermiques aux mêmes températures que celle de la bowlingite.

La densité est égale à 2,25 et les indices de réfraction sont $n_g = 1,55$ et $n_p = 1,54$. En plaque mince le minéral se présente en agrégats de fibres dont l'orientation est quelconque. La formule chimique déduite de l'analyse (52) est celle des « bowlingites » $5 \text{ Si O}_2, (\text{Al, Fe})^2 \text{ O}_3, 5 (\text{Fe, Ca, Mg})\text{O}, 4 \text{ H}_2 \text{ O}$. Le diagramme est absolument identique à celui de ces minéraux.

DISTANCE EN m/m. DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
13,5	f.	10°7'	4,37
17,5	f.	13°7'	3,38
20,5	A. F.	15°22'	2,90
23,5	f.	17°37'	2,53
35,5	f.	26°37'	1,71
40,5	F.	30°22'	1,52
47,5	f.	35°37'	1,32
66,5	f.	49°52'	0,92

De plus à 1000° le produit devient magnétique ; son spectre X ne met en évidence aucune des raies du corindon, du spinelle ou du grenat, mais peut être identifié à celui d'un mélange d'enstatite et de magnétite ainsi que le prouvent les différentes valeurs de d : 3,12 — 3,87 — 2,79 — 2,48 (F.) — 1,61 — 1,50 — 1,47 (A.F.) — 1,46 — 1,38 — 1,31 — 1,28 — 0,92.

Je crois pouvoir rapprocher de ces minéraux un échantillon étiqueté « *diabantite* » de *Bergen Hill* (N° 96.593). C'est un minéral fibreux vert sombre, qui ne peut être rattaché aux chlorites. De même facies que la « *bowlingite* », sa composition chimique ne diffère de celle de la saponite que par une plus faible teneur en eau de constitution (analyse 53).

L'analyse thermique (courbe IV, fig. 6), en effet, met en évidence un crochet endothermique vers 740°, mais l'inflexion à 540° est plus faible que dans le cas des saponites. Cependant le diagramme X de cette « *diabantite* » montre les mêmes raies que celui de la saponite. Après calcination, le minéral devenu très magnétique recristallise en un mélange d'enstatite et de magnétite.

En résumé, il y a identité complète entre les caractères spécifiques de la *bowlingite* et ceux de la saponite dont elle ne représente qu'un facies fibreux. On voit d'autre part que la composition chimique de ces minéraux est intermédiaire entre celles des montmorillonites et des chlorites.

II. — LE XYLOTILE.

Le xylotile, décrit par Glocker (50), a été considéré par Savtchenko (102) et A. Fersmann (41) comme une variété ferrière de palygorskites, tandis que pour d'autres auteurs (72) il constitue un type de chrysotile.

Ce minéral, comme la bowlingite, n'est connu que dans un petit nombre de gisements. J'en étudierai successivement quelques échantillons :

Xylotile de Kimberley (N° 98.201). — Il se présente en plaques brunes à facies xyloïde ; il est associé à de la calcite et à de la pyrite. Une courbe d'analyse thermique, faite sur les parties les plus pures, a mis en évidence deux crochets endothermiques correspondant, le premier au départ de l'eau hygroscopique vers 150°, le second au dégagement de l'eau de constitution vers 630°. Le diagramme de ce minéral est très peu net ; toutefois, il permet de calculer les différentes valeurs des espacements réticulaires 4,37 — 3,81 — 3,38 — 2,53 — 1,57 — 1,53 — 1,44 — 1,29.

Xylotile de Farafate, Madagascar (N° 106.95). — Précédemment décrit par M. J. Couyat [Barthou] (53). Il se trouve dans une diabase et contient de la calcite. L'analyse thermique VIII (fig. 6), en effet, indique un départ d'eau important entre 150° et 400°, un très faible crochet endothermique vers 630°-650° et à 800°, l'inflexion endothermique correspondant à la dissociation du carbonate.

Le minéral, pulvérisé aussi finement que possible, a été traité par l'acide chlorhydrique dilué, lavé, séché puis analysé. Il est possible de traduire les résultats de cette analyse (analyse 54)

	54.	55.	56.	57.
Si O ²	50,34	43,85	46,60	45,82
Al ² O ³	0,27	1,70	0,65	»
Fe ² O ³	16,20	18,52	16,76	21,70
Fe O	0,70	»	1,50	0,20
Mn O	tr.	0,19	0,32	0,17
Ca O	0,76	0,66	0,71	0,90
Mg O	12,26	15,63	15,49	12,32
Ti O ²		0,05	0,05	0,05
H ² O —	13,04	8,93	8,12	9,48
+	6,70	10,69	10,30	9,41
	100,27	100,22	100,50	100,05

par la formule suivante : 8 SiO_2 , $(\text{Al}, \text{Fe})^2 \text{O}_3$, $3 (\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{O}$, $4 \text{H}^2 \text{O}$. Les indices de réfraction un peu plus élevés que ceux des saponites ont pour valeurs $n_g = 1,58$, $n_p = 1,56$. Le diagramme X met en évidence une structure cristalline, mais les raies sont extrêmement floues.

Xylotile de Brenner, Tyrol. — Minéral brun tabac assez clair, dont la courbe thermique est identique à celle du xylotile de Kimberley (courbe VI, fig. 6). Par immersion dans l'ortholuidine et dans le bromoforme, j'ai obtenu pour les deux indices les valeurs $n_g = 1,58$, $n_p = 1,56$, l'angle des axes est faible. Le produit calciné est très nettement magnétique. N'ayant pas assez de substance à ma disposition je n'ai pu effectuer le dosage de Fe O. D'après les résultats de l'analyse chimique (55) le minéral étudié répond à la formule 7 Si O_2 , $(\text{Al}, \text{Fe})^2 \text{O}_3$, $4 (\text{Ca}, \text{Mg}) \text{O}$, $5 \text{H}^2 \text{O}$ (22).

Son diagramme présente un assez grand nombre de raies un peu floues qui coïncident, pour la plupart, avec celles de l'échantillon de Kimberley.

DISTANCE EN m/m DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
—	—	—	—
13,5	f.	$10^\circ 7'$	4,37
15,5	f.	$11^\circ 37'$	3,81
17,5	f.	$13^\circ 7'$	3,38
19	f.	$14^\circ 15'$	3,12
22	f.	$16^\circ 30'$	2,70
23,5	f.	$17^\circ 37'$	2,53
24,5	f.	$18^\circ 22'$	2,43
26	f.	$19^\circ 30'$	2,30
29	f.	$21^\circ 45'$	2,08
31	f.	$23^\circ 15'$	1,94
35	f.	$26^\circ 15'$	1,73
40	f.	30°	1,53
46	f.	$34^\circ 30'$	1,35
48,5	f.	$36^\circ 22'$	1,29
53	f.	$39^\circ 45'$	1,20
65	f.	$48^\circ 45'$	1,02

Le produit provenant de la calcination donne des raies très différentes rassemblées dans le tableau ci-dessous : 3,12 — 3,01 — 2,87 — 2,48 — (F.) — 2,14 — 1,61 (A. F.) — 1,48 (A. F.) — 1,22.

Xylotile de Schneeberg, Tyrol (N° 25.783). — Il est brun clair beaucoup plus compact que le précédent, et ne renferme pas de calcite. Sa courbe d'analyse thermique V (fig. 6), faite dans l'air et dans l'azote est identique à celle des autres xylotiles. Sa densité est de 2,53 et ses indices de réfraction ont pour valeurs : $n_g = 1,59$, $n_p = 1,56$. Le minéral est optiquement positif et l'angle des axes est faible (72). L'étude chimique (analyse 56), donne des résultats qui se traduisent par la formule 7 SiO_2 , Fe_2O_3 , $4 (\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$, $3 \text{ H}_2\text{O}$.

Son diagramme est très analogue à celui des autres xylotiles et ne montre que des raies très faibles.

Après calcination à 1000° le produit donne un spectre X tout différent ; ses raies nettes et fines correspondent, comme dans le cas des saponites chauffées à cette température, à un mélange d'enstatite et de magnétite ; toutefois la teneur en FeO des xylotiles étant faible, il y a lieu de se demander si il ne se forme pas également de l'oxyde de Malagutti.

Xylotile de Sterzing, Tyrol (N° 2.639). — C'est un minéral fibreux, très typique ; aussi me suis-je attachée tout particulièrement à son étude.

L'inflexion endothermique due au départ de l'eau de constitution se place vers 650° (courbe VII, fig. 6). Sa densité, toujours mesurée à l'aide de la balance hydrostatique, a pour valeur 2,42. En plaque mince, le minéral est jaune brun, nettement polychroïque, parallèlement aux fibres il est jaune foncé et perpendiculairement il est jaune d'or ; ses indices sont égaux n_g à 1,58 et n_p à 1,56. La biréfringence de 0,020

est plus élevée que dans le chrysotile ; les fibres sont positives et l'extinction se produit pour une position faisant un angle de quelques degrés avec l'allongement.

La composition (analyse 57) correspond à la formule $7 \text{ SiO}_2, \text{Fe}^2 \text{ O}^3, 4 (\text{Fe, Mg, Ca}) \text{ O}, 5 \text{ H}^2 \text{ O}$.

Son diagramme donne pour d les valeurs suivantes :

DISTANCE EN m/m DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
—	—	—	—
13,5	f.	10°7'	4,37
15,5	f.	11°37'	3,81
17,5	f.	13°7'	3,38
22,5	f.	16°52'	2,64
23,5	f.	17°37'	2,53
26	f.	19°30'	2,30
28,5	f.	21°22'	2,10
35	f.	26°15'	1,73
37,5	f.	28°7'	1,63
40	f.	30°	1,53
42,5	f.	31°37'	1,44
46,5	f.	34°52'	1,31
48,5	f.	36°22'	1,29

Après séchage à 110° et perte de 9,48 % d'eau, les raies du spectre sont plus floues que celles fournies par le minéral primitif et moins nombreuses. On observe seulement des raies correspondant aux espacements d : 3,38 — 2,64 — 2,08 — 1,69 — 1,57 — 1,50.

Calciné pendant 50 heures à 370° le minéral perd 14,47 % d'eau ; il donne un diagramme avec des raies toujours très peu nettes mais qui semblent un peu plus éloignées du centre que les précédentes. Voici en effet les différentes valeurs de d exprimées en Ångströms : 4,21 —

3,58 — 3,20 — 2,53 — 2,34 — 2,22 — 2,08 — 1,73 —
1,65 — 1,55 — 1,47.

Avec le produit chauffé, 260 heures de plus à 370°, et ayant alors perdu 16,92 % d'eau, les raies du spectre X sont encore plus floues, moins nombreuses, mais présentent le même écartement que dans le diagramme précédent.

Après chauffage à 680° et perte de la totalité de l'eau, le produit devient légèrement magnétique; toutes les raies du xylotile ont disparu et il en apparaît deux nouvelles, très faibles, correspondant aux distances de plans réticulaires $d = 3,12$ et $2,83$.

A 810° le produit est très magnétique et met en évidence les distances $2,83$ — $2,48$ (A. F.) — $1,47$.

A 1000°, le diagramme présente de nombreuses raies très fines. Il est identique d'ailleurs aux spectres des autres xylotiles calcinés à même température et à celui d'un mélange d'enstatite et de magnétite.

DISTANCE EN m/m DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
—	—	—	—
15	F.	41°15'	3,93
19	f.	44°15'	3,12
20,5	f.	45°22'	2,90
21	f.	45°45'	2,83
24	F.	48°	2,48
28,75	f.	21°33'	2,09
35,5	f.	26°37'	1,71
38	F.	28°30'	1,61
41,5	f.	31°7'	1,48
47	f.	35°15'	1,33
49	f.	36°45'	1,28
57,5	f.	43°7'	1,12
62,25	f.	46°41'	1,09
65,5	f.	49°7'	1,05
69,5	f.	52°7'	1,01

Après le départ de l'eau, le xylotile perd sa structure ; le produit, ainsi obtenu, recristallise très lentement et à 1000°, on peut y déceler l'enstatite et la magnétite.

Il est impossible, dans ces produits de calcination, comme dans ceux des bowlingites, de mettre en évidence, par les rayons X, un minéral alumineux. D'ailleurs, l'alumine n'existant qu'en petites quantités peut fort bien se trouver à l'état de solution solide dans la magnétite.

D'autre part, une propriété remarquable du xylotile est la facilité avec laquelle il est attaqué par l'acide chlorhydrique. Aussi, il m'a paru intéressant d'étudier, à l'aide des rayons X, les variations de structure possibles de la substance après une attaque ménagée. Pour cela, le minéral, réduit en petits fragments de quelques millimètres de longueur, a été traité par une solution froide d'acide chlorhydrique à 5 %. Au bout de vingt à trente minutes, le liquide devient légèrement jaunâtre autour de chaque fragment. Après treize jours, la solution est fortement colorée et les fragments, devenus complètement blancs, sont lavés à l'eau distillée. Pulvérisés, ils donnent un diagramme X où il existe seulement des raies qui ne semblent pas appartenir au spectre du xylotile. Au microscope, les fibres sont très nettement biréfringentes, l'angle d'extinction est faible par rapport à l'allongement mais les indices sont devenus tous les deux inférieurs à 1,49.

Dans une seconde expérience, le minéral, également en petits fragments, est traité par l'acide chlorhydrique à l'ébullition. Au bout de cinq minutes, ils sont complètement blancs ; pulvérisés, ils donnent un diagramme de Debye et Scherrer, analogue au précédent. La structure du xylotile a pour ainsi dire complètement disparu ; le minéral est dans un état voisin de celui d'une substance amorphe. Le départ du fer entraîne donc l'effondrement de l'édifice

cristallin de la substance et malgré les transformations profondes de structure, les propriétés optiques, tout en étant sensiblement modifiées (abaissement de l'indice et de la biréfringence), sont celles d'une substance nettement cristalline.

En résumé, les propriétés des différents échantillons étudiés montrent que les xylotiles présentent un ensemble de caractères bien définis. Ils forment un type minéralogique qu'il est impossible de considérer comme une variété de palygorskite, car les courbes d'analyse thermique, les diagrammes X sont différents. D'autre part, malgré un certain nombre de caractères qui les rapprochent du chrysotile (propriétés optiques, analogie de la courbe d'analyse thermique) ils s'en distinguent par la composition chimique et la structure cristalline. Le xylotile constitue donc une espèce distincte et doit, à ce titre, figurer dans la classification.

CHAPITRE VII

LES ANTIGORITES NICKÉLIFÈRES

Les silicates de nickel et de magnésie constituent des minerais que l'on trouve dans deux de nos colonies, à Madagascar et surtout en Nouvelle-Calédonie. Les parties les plus riches de ce minerai ont été décrites en 1874 et désignées sous le nom de garniérite par W. B. Clarke (26) et de nouméite par Liversidge (82). La découverte de ces gisements néo-calédoniens, faite par Garnier en 1864, a donné lieu à une série de travaux parmi lesquels on peut citer ceux de Heurteau (62), Pelatan (95), M. Glasser (48).

Les différences de facies, de texture et surtout de composition chimique de ces minerais ont été très vite remarquées par ces auteurs et dès 1878 un certain nombre d'entre eux pensaient, avec A. des Cloizeaux (35), que la nouméite ne forme pas une espèce minéralogique définie. Cependant, M. A. Lacroix (72) réserve le terme de nouméite aux masses mamelonnées ou stalactiformes et celui de garniérite à la variété terreuse, cryptocristalline ou amorphe de couleur plus claire. Pour M. A. Lacroix les variations de composition chimique s'interprètent facilement, car le plus souvent on a analysé un minerai et non un minéral.

Quoi qu'il en soit, les résultats essentiellement variables fournis par l'étude chimique de ces silicates expliquent le grand nombre de noms utilisés pour les désigner dont les principaux sont, outre ceux de nouméite et de garniérite, ceux de pimélite, népouite, antigorite nickélifère, roettisite, rewdanskite, nickel-gymnite, genthite, de saulésite et connarite.

Il était intéressant de faire une étude d'ensemble de ces minéraux en utilisant non seulement l'analyse chimique mais encore toutes les méthodes physiques et physico-chimiques mises en œuvre dans les chapitres précédents, afin de savoir, si parmi ces silicates, il existe vraiment des antigorites nickélifères. Les matériaux qui m'ont servi pour cette étude proviennent soit de la Nouvelle-Calédonie et ont été rapportés par Garnier, M. Glasser et M. Aubert de la Rüe ; soit de Madagascar où ils ont été recueillis par M. A. Lacroix, par Grandidier et Willaume. Enfin les autres échantillons sont ceux de localités originelles : rewdanskite de Rewdansk, roettisite de Roettis, pimélite de Silésie.

Les minerais néo-calédoniens de Thio sont associés à des péridotites d'un vert très foncé, extrêmement compactes, mais toujours partiellement serpentinisées, comme le montre l'étude en plaque mince. La roche est sillonnée d'un grand nombre de veinules d'antigorite, légèrement jaune verdâtre un peu plus biréfringente que la serpentine, qui est la nouméite. L'étude thermique différentielle de ces péridotites donne une courbe présentant un crochet endothermique vers 650° suivi d'un léger phénomène exothermique vers 750° qui est celle d'une antigorite α . Il y a lieu d'insister sur ce fait, car l'antigorite qui se forme généralement dans les roches en voie de serpentinisation est l'antigorite β . Cette courbe permet donc d'établir que la péridotite est partiellement serpentinisée en antigorite α . Je n'ai pas trouvé

de serpentines véritables dans la région de Thio. Je n'ai étudié qu'un seul échantillon de serpentine de la Nouvelle-Calédonie ; cet échantillon vert foncé à éclat vitreux brillant vient du Mont Dore (région de Nouméa).

Les minéraux malgaches proviennent soit de la région d'Ambatondrazaka, soit de Valojoro. Dans la première localité la nouméite se trouve en veines dans une serpentine jaunâtre friable, très altérée. La courbe d'analyse thermique présente un phénomène exothermique extrêmement net ; cette serpentine est donc constituée par une antigorite α .

A Valojoro, les silicates de nickel sont encore associés à une serpentine jaune verdâtre recouverte, par place, par une croûte mince vert pomme, à éclat gras, décrite par M. A. Lacroix (72). La serpentine est très altérée et appartient, d'après sa courbe thermique, aux antigorites α .

En France, M. A. Lacroix a signalé (72) l'existence de la nouméite à Moncaup (Haute-Garonne) dans une lherzomite serpentinisée. M. J. Couyat a rapporté de l'île Zebirget une antigorite nickélifère ; elle se trouve dans une dunite blanc jaunâtre, friable, très altérée présentant de très beaux cristaux transparents d'olivine employés en joaillerie (52).

On voit que tous ces échantillons de nouméite sont liés à des formations serpentineuses.

Une constatation identique a été faite par von Foulton (43) pour le gisement de Franckenstein (Silésie) où le silicate de nickel se trouve dans une serpentine nickélifère ; De même, d'après cet auteur, les silicates de Revda (Oural) sont situés dans un massif de serpentines dont la teneur en nickel est de 0,33 %.

Enfin, C. S. Ross, E. V. Shannon et F. A. Gonger (100) ont montré que les gisements de nickel de la Caroline du Nord, se sont formés par un mécanisme identique à celui de la serpentinsation des dunites.

I. — MINÉRAUX DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE

Antigorite nickélifère de Thio (N° 110.364). — Ce minéral xylloïde vert sombre a exactement le facies de la zermatite de Zermatt. L'étude microscopique montre qu'il est constitué par des fibres légèrement jaunâtres, sensiblement parallèles dont l'allongement est positif. Sa biréfringence est celle d'une antigorite typique. L'analyse thermique différentielle fournit une courbe d'antigorite (23) avec très peu d'eau hygroscopique. Le diagramme de Debye et Scherrer présente des raies nombreuses et assez fines qui peuvent être rapportées à celles d'une antigorite 8,16 (A.F.) — 6,92 (A.F.) — 4,91 — 4,37 — 3,81 — 3,58 (F.) — 2,53 (A.F.) — 1,57 — 1,55 —

L'analyse chimique (58) conduit à la formule : $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$.

	58.	59.	60.	61.	62.	63.	64.	65.
Si O ²	42,13	36,31	44,61	41,17	50,40	41,95	51,86	46,26
Al ² O ³	»	tr	»	0,44	»	»	»	»
Fe ² O ³	2,91	0,61	0,22	1,53	0,73	1,20	0,20	1,26
Fe O	»	»	»	»	»	»	»	»
Ca O	»	1,51	»	»	»	»	tr	»
Mg O	35,22	14,70	14,98	29,18	20,28	40,26	25,50	18,18
Ni O	6,66	29,98	28,10	13,45	9,78	1,84	10,62	21,63
H ² O —	0,99	6,61	4,53	2,85	9,92	1,60	4,74	4,93
+	11,95	10,08	7,97	11,20	8,68	13,15	7,22	7,89
	99,86	99,80	100,41	99,80	99,79	100,00	100,14	100,15

La proportion de Ni O y est de 6,66 %; elle correspond à une teneur d'une molécule de nickel pour dix de magnésie.

Le diagramme X du produit calciné à 1000°, pendant

environ une demi-heure, met en évidence un mélange d'olivine et d'enstatite.

Il n'est pas possible de constater la moindre différence avec le spectre d'une antigorite calcinée à la même température. Il y a donc eu remplacement d'une partie de la magnésie de l'antigorite par du nickel mais il n'en est résulté aucune modification profonde de l'édifice cristallin. L'échantillon étudié constitue donc bien un type nickélique d'antigorite.

Nouméite de Thio (N° 96.1051). — Cet échantillon vert pomme, mamelonné, est une nouméite typique (72). Or, l'analyse thermique (courbe IV, fig. 7) met en évidence un phénomène endothermique très important entre 150° et 450°, un second vers 600° et un phénomène exothermique vers 780°. Ces deux derniers correspondent à la présence d'une antigorite α , tandis que la grande quantité d'eau hygroscopique qui a donné naissance au premier crochet est vraisemblablement due à des matières colloïdales associées à l'antigorite. Sa structure microscopique intime est celle de la deweylite. L'allongement des fibres est positif, les axes optiques sont presque réunis autour de la bissectrice aiguë, ainsi que l'a montré M. A. Lacroix (72).

De l'analyse chimique (59) on déduit la formule globale : $H^4 (Mg, Ni)^3 Si^2 O^9$. Les compositions des parties cristallisées et colloïdales sont donc sensiblement les mêmes et correspondent à celle de l'antigorite. La teneur en nickel, dans ce cas, est de 29,98 %. Le diagramme X est celui d'un produit assez mal cristallisé ; les raies sont larges et floues, mais elles correspondent à celles de l'antigorite ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

8,16 — 6,92 (A. F.) — 4,37 — 2,53 (A. F.) — 2,43 (A. F.)
— 1,53 (F.) — 1,31 — 1.

Chauffée à 1000° la substance recristallise entièrement,

les raies nombreuses et fines sont identifiables à celles de l'enstatite et de l'olivine.

NOUMÉITE CALCINÉE A 1100° d CALCULÉ EN Å.	ENSTATITE d CALCULÉ EN Å.	OLIVINE d CALCULÉ EN Å.
4,91		
4,70		
4,50		
4,02		4,02
3,69		3,58
3,48 (A. F.)		
2,76	3,12 (f.) 2,87 (A. F.) 2,70	2,90 (A. F.)
		2,59 (F.)
2,53		
2,48 (F.)	2,48 (A. F.)	2,48 (F.)
2,43		
2,26		2,26 (A. F.)
2,16		
2,10	2,10 (A. F.)	
1,94	1,97	1,97
1,88		1,88
1,75 (F.)	1,73	1,75 (F.)
1,67		
1,63		
1,59		
1,50		1,50
1,48 (F.)	1,47 (A. F.)	
1,41 (F.)	1,41 (A. F.)	1,41 (A. F.)
1,35 (A. F.)		1,37 (A. F.)
1,33 (A. F.)		
1,30	1,30	
1,22	1,26	
1,18	1,18 (A. F.)	1,18 (A. F.)
1,14		
1,10		
1,08		
1,01		1,04

Grâce à l'emploi de ces différentes méthodes, on peut déterminer la véritable nature de cet échantillon qui est essentiellement formé d'antigorite nickélifère associée à une partie colloïdale de même composition chimique. Il ne semble donc pas devoir être pris comme type d'une espèce minéralogique distincte.

Nouméite de Thio (N° 96.1954). — C'est un minéral vert assez pâle, formé de couches compactes et dont la partie extérieure est légèrement concrétionnée. L'examen microscopique montre un minéral verdâtre sans polychroïsme de faible biréfringence. Entre nicols croisés la structure fibreuse très fine apparaît. Le fond de la préparation est constitué par une masse très peu biréfringente dans laquelle se détachent d'assez nombreux sphérolites plus biréfringents. La courbe d'analyse thermique est très analogue à celle du minéral précédent et correspond à une antigorite associée à une matière colloïdale qui se déshydrate lentement entre 150° et 400°. La composition chimique (analyse 60) peut se traduire par la formule $H^4 (Mg, Ni)^3 Si^2 O^9$. Le spectre X confirme la présence d'antigorite mais le produit est imparfaitement cristallisé, les raies étant peu nombreuses et larges.

DISTANCE EN m/m DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
8,5	A. F.	6°22'	6,92
13,5	A. F.	10°7'	4,37
16,5	A. F.	12°22'	3,58
23	A. F.	17°15'	2,77
24,5	A. F.	18°22'	2,43
40	F.	30°	1,53
54	f.	40°79'	1,18
66,5	f.	49°52'	1

Après calcination (1000°) le diagramme est celui d'un mélange d'enstatite et d'olivine très bien cristallisé, tout à fait identique à celui de la nouméite précédente N° 96.1051, calcinée à la même température. On peut donc conclure que cette nouméite est en réalité une antigorite nickélique associée à une masse colloïdale légèrement plus riche en silice. Il y a lieu de remarquer que la silice en excès n'a pas été mise en évidence par les rayons X, probablement parce qu'elle n'a pas encore cristallisé après chauffage à 1000°.

Népouite (1). — Cet échantillon est un de ceux décrits par M. E. Glasser (49). Il est vert pâle, sa composition chimique (analyse 61) correspond à la formule $H^4 (Mg, Ni)^3 Si^2 O^9$ qui est exactement celle de l'antigorite. La courbe thermique (23) présente à 650° une inflexion endothermique très importante suivie vers 750° d'un crochet exothermique très aigu (courbe I, fig. 7). Elle est identique à celle de l'antigorite pseudo-cubique de Tilly Foster. Avec ce minéral, comme avec toutes les antigorites, il est facile de mettre en évidence le phénomène lumineux qui accompagne le dégagement de chaleur à 750°.

DISTANCE EN m/m DU CENTRE AUX RAIES	INTENSITÉ	θ	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
7,2	f.	5°24'	8,16
8,5	f.	6°22'	6,92
13,5	f.	10°7'	4,37
16,5	f.	12°22'	3,58
23,5	f.	17°37'	2,53
24,5	A. F.	18°22'	2,43
40	A. F.	30°	1,53
47,5	f.	35°37'	1,32
66,5	f.	49°52'	1

(1) Cet échantillon et le suivant m'ont été aimablement communiqués par M. E. Glasser.

L'étude, à l'aide des rayons X, ne permet de constater aucune différence avec l'antigorite (voir p. 137).

Notamment après le phénomène exothermique la népouite recristallise en un mélange d'ensatite et d'olivine.

NÉPOUITE CALCINÉE d CALCULÉ EN Å. —	ENSTATITE d CALCULÉ EN Å. —	OLIVINE d CALCULÉ EN Å. —
4,91		
4,02		4,02
3,81		
3,58		3,58
3,12	3,12 (F.)	
2,87	2,87 (A.F.)	2,90 (A.F.)
2,70 (A.F.)	2,70	2,59 (F.)
2,48 (F.)	2,48 (A.F.)	2,48 (F.)
2,43 (F.)		
2,26		2,26 (A.F.)
2,10	2,10 (A.F.)	
1,97	1,97	1,97
1,73 (F.)	1,73	1,75 (F.)
1,65		
1,50	1,47 (A.F.)	1,50 (A.F.)
	1,41 (A.F.)	1,41 (A.F.)
		1,37 (A.F.)
1,30	1,30	1,27
	1,26	
	1,18 (A.F.)	1,18 (A.F.)
1,07	1,07	
1,04	1,05	1,05
1	1	

Ces quelques nouveaux caractères confirment l'analogie de la népouite et de l'antigorite.

Népouite (N° 6). — Elle est constituée par des vermicules vert foncé formés par l'empilement de paillettes miroitantes qui se clivent parallèlement au plan des axes.

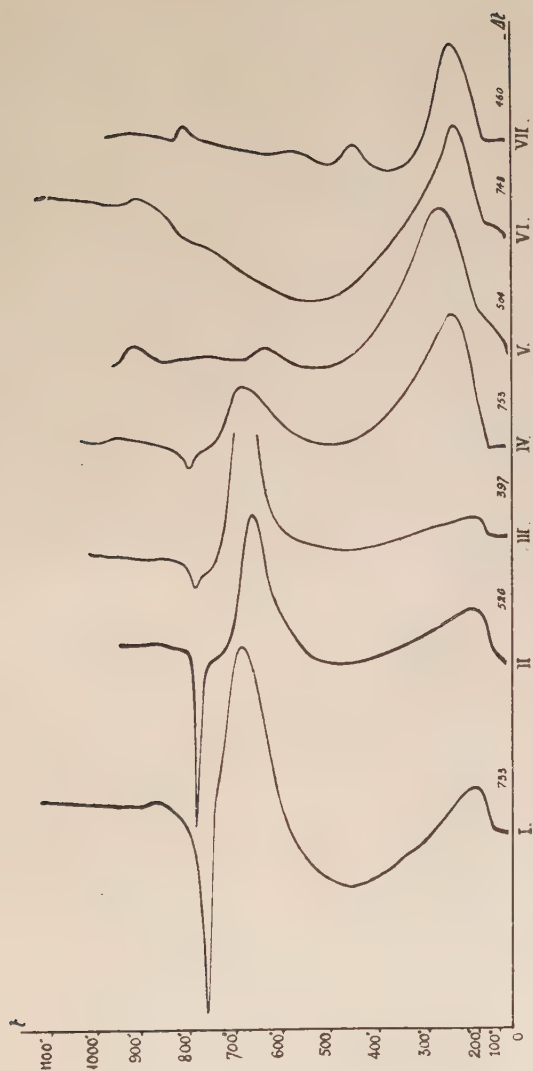


Fig. 7. — *Garniériles*. I. Népouite; II. Pimélite de Valojoro; III. Nouméite de Valojoro; IV. Nouméite de Thio; V. Nouméite (N° 99.749); VI. Nouméite d'Ambatondrazaka; VII. Nouméite (N° 77.77).

L'étude cristalline du minéral et de ses produits de calcination montre l'identité avec l'antigorite, comme dans le cas précédent. Toutefois la courbe thermique est celle d'une antigorite. β

Nouméite (N° 77.77). — C'est un minéral très compact vert foncé qui se pulvérise difficilement. Au microscope on voit qu'il est constitué de fibres très fines enchevêtrées. Sa courbe thermique est très différente de celles des nouméites étudiées jusqu'à présent. Elle montre en effet des crochets endothermiques vers 170°, 400°, 780° et un phénomène exothermique très faible à 820°. Cette courbe (VII, fig. 7) est caractéristique de la sépiolite. D'autre part, de l'analyse chimique (62), on déduit la formule $3 \text{ Si O}_2, 2(\text{Mg, Ni})\text{O}, 2 \text{ H}_2\text{O}$ qui est celle admise pour ce minéral en remarquant qu'une partie de la magnésie est remplacée par du nickel (un atome de nickel pour quatre de magnésium). Le diagramme de Debye et Scherrer est bien identique à celui de la sépiolite d'Ampandrandava.

NOUMÉITE	SÉPIOLITE D'AMPANDRANDAVA
d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS	d CALCULÉ EN ÅNGSTRÖMS
11,30 (F.)	11,30 (F.)
6,92	6,92
6,20	6,20
	4,64
4,27	4,27
3,94	3,94
3,58	3,58
3,20	3,20
2,61	2,64
2,53 (A.F.)	2,53 (A.F.)
2,39	2,39
2,23	2,23
2,04	2,04
1,68	1,69
1,58	1,57
1,49 (A.F.)	1,50
1,41	1,41
1,29 (A.F.)	1,29 (F.)
	1

Après chauffage à 1.000° le spectre X met en évidence les raies de l'enstatite, comme dans le cas d'une sépiolite. Tous ces caractères permettent de conclure que cette nouméite ne constitue pas une espèce spéciale mais est formée par une variété nickélifère de sépiolite.

Nouméite (N° 76. 133). — Elle est compacte, vert pomme, et rappelle beaucoup par son facies le minéral précédent. Son étude thermique montre qu'elle ne constitue pas une espèce mais est formée par un mélange d'antigorite et de sépiolite. Ce mélange est mis en évidence très nettement par l'étude aux rayons X.

NOUMÉITE d CALCULÉ EN Å.	CHRYSOTILE DE MONTVILLE d CALCULÉ EN Å.	SÉPIOLITE d CALCULÉ EN Å.
—	—	—
11,30		11,30
	8,16	
6,92	6,92	6,92
4,72		6,20
4,27	4,37	4,64
	3,81	3,94
3,58	3,58	3,58
		3,20
		2,64
2,53	2,53	2,53
	2,43	
2,39		2,39
2,23		2,23
	2,04	2,04
1,69	1,79	1,69
	1,71	1,57
1,52	1,52	1,50
	1,44	
		1,41
1,30	1,30	1,29

Après calcination on constate que la substance a cristallisé en un mélange d'enstatite et d'olivine, ce qui est parfaitement en accord avec les résultats de l'étude thermique.

NOUMÉITE CALCINÉE d CALCULÉ EN Å.	ENSTATITE d CALCULÉ EN Å.	OLIVINE d CALCULÉ EN Å.
—	—	—
		4,02
3,58		3,58
3,42 (A.F.)	3,42 (F.)	
2,87	2,87 (A.F.)	2,90 (A.F.)
2,70	2,70	
		2,59 (A.F.)
2,53 (F.)		
2,48 (F.)	2,48 (A.F.)	2,48 (F.)
2,43 (F.)		
2,26		2,26 (A.F.)
2,40	2,40 (A.F.)	
	1,97	1,97
1,78		1,75 (F.)
1,73 (F.)	1,73	
1,65		
		1,50 (A.F.)
1,47 (F.)	1,47 (A.F.)	
1,38 (A.F.)	1,41 (A.F.)	1,41 (A.F.)
1,34	1,30	
	1,26	
	1,18 (A.F.)	1,18 (A.F.)
1,08	1,07	
	1,05	
1,04		1,04
	1	

Les minéraux néo-calédoniens étudiés sont donc constitués uniquement par deux espèces minérales : l'antigorite et la sépiolite ou plus rarement par le mélange de ces deux espèces.

II. — MINÉRAUX MALGACHES

Nouméite de Valojoro (N° 112.857). — La nouméite de ce gisement forme des croûtes vertes brillantes, à éclat gras à la surface de blocs de serpentine. Cette couche de nouméite a généralement une épaisseur de quelques millimètres ; un échantillon particulièrement beau ayant plusieurs centimètres d'épaisseur a été étudié d'une manière complète. Au microscope il se présente en une masse légèrement jaunâtre constituée par un agrégat de fibres très fines enchevêtrées, peu biréfringentes, au milieu duquel se détachent un certain nombre de très beaux sphérolites de biréfringence plus élevée. La courbe d'analyse thermique (III, fig. 7) ne se différencie pas de celle de l'antigorite ; cependant le crochet exothermique est sensiblement plus faible qu'avec la népouite. La composition chimique (analyse 63) de cette nouméite est celle des antigorites. La teneur en nickel, d'ailleurs faible (1,84 %), correspond au remplacement d'une molécule sur cent de magnésie. L'étude, à l'aide des rayons X, de ce minéral et de ses produits de calcination, confirme les résultats précédents et cette nouméite est bien une antigorite, faiblement nickélifère.

Pimélite (N° 100.949). — Ce minéral de la même localité que le précédent est friable ; il a l'aspect d'une serpentine très altérée. L'analyse thermique met en évidence non seulement le départ de l'eau hygroscopique mais encore un crochet endothermique entre 550° et 750° suivi immédiatement d'un très important phénomène exothermique correspondant à une incandescence nette (courbe II, fig. 7). Le diagramme X est identique à celui du chrysotile de Montville.

PIMÉLITE	CHRYSOTILE
d CALCULÉ EN Å.	d CALCULÉ EN Å.
—	—
8,16 (A.F.)	8,16 (A.F.)
6,92 (F.)	6,92 (F.)
4,37	4,37
	3,81
3,58 (F.)	3,58 (F.)
2,48 (A.F.)	2,53 (A.F.)
	2,43 (A.F.)
2	2,04
	1,79
1,67	1,71
1,55 (F.)	1,52 (F.)
	1,44
1,30 (A.F.)	1,30 (A.F.)
	1,19
1	0,97

Après calcination on identifie très facilement le mélange d'enstatite et d'olivine.

L'ensemble de ces propriétés fait de la pimélite, une antigorite nickélifère.

Nouméite de Vato (N° 99.749). — Ce minéral poreux, extrêmement fragile, d'un vert pâle, est impossible à tailler en plaques minces. L'étude thermique différentielle permet de constater qu'il est en réalité constitué par du talc associé à un peu d'antigorite (courbe V, fig. 7).

Dans le diagramme X, on voit presque exclusivement les raies du talc qui est nettement le constituant essentiel et quelques raies de l'antigorite.

NOUMÉITE d CALCULÉ EN Å.	TALC d CALCULÉ EN Å.	CHRYSTILE DE MONTVILLE d CALCULÉ EN Å.
	10,97	
8,70	8,70 (F.)	8,16 (A.F.)
6,92		6,92 (F.)
4,72	4,7	
4,45 (A.F.)	4,45 (F.)	4,37
3,20	3,20	3,58 (F.)
3,04	3,05 (F.)	
2,56	2,56	2,53 (A.F.)
2,43	2,43	2,43 (A.F.)
	2,18	
	2,09	2,04
	1,83	1,79
	1,65	1,71
1,52 (F.)	1,52 (F.)	1,52 (F.)
		1,44
	1,39	
1,30		1,30 (A.F.)
	1,17	1,19

Après calcination le produit donne uniquement les raies de l'enstatite.

NOUMÉITE CALCINÉE d CALCULÉ EN Å.	ENSTATITE d CALCULÉ EN Å.
3,12 (F.)	3,12 (F.)
2,87	2,87
	2,70
2,58 (F.)	2,48 (A.F.)
	2,10 (A.F.)
1,97	1,97
1,73	1,73
1,47 (A.F.)	1,47 (A.F.)
	1,41 (A.F.)
	1,30
1,26	1,26
	1,21
	1,18 (A.F.)
1,07	1,07

L'analyse chimique (65) à elle seule, ne permettrait pas de définir correctement la substance ; elle semble en effet correspondre d'une façon assez satisfaisante à la composition d'une sépiolite. Grâce aux données de l'analyse cristalline (du minéral et de ses produits de calcination) et surtout grâce à l'analyse thermique différentielle on peut interpréter exactement cette composition, comme celle d'un mélange d'environ deux molécules de talc pour une d'antigorite. Ceci n'est d'ailleurs pas en désaccord avec l'absence des raies de l'olivine dans le diagramme X des produits de calcination, puisqu'il n'existe dans ces produits qu'une molécule d'olivine pour sept d'enstatite. La méthode n'est sans doute pas suffisamment sensible pour la déceler. Cet échantillon constitue un exemple intéressant de mélange.

Nouméite Ambatondrazaka (N° 113.355). — C'est un minéral compact, onctueux au toucher qui est formé de couches sensiblement parallèles et alternativement vert clair et vert foncé. L'étude d'une section mince montre en lumière naturelle une substance jaunâtre ne présentant pas de polychroïsme. Entre nicols croisés on constate que cette masse est cryptocristalline, peu biréfringente et renferme de très gros sphérolites à croix noire nettement biréfringents. Ces propriétés optiques rapprochent ce minéral des autres nouméites ; or, la courbe d'analyse thermique est différente et met en évidence le départ de l'eau hygroscopique et un départ d'eau de constitution vers 950° (courbe VI, fig. 7). Ce minéral n'est donc pas une antigorite et d'après son comportement thermique doit être rapproché du talc. L'analyse chimique (64) fournit des résultats difficiles à interpréter.

En effet, on a bien un silicate hydraté de nickel et de magnésie mais il ne répond exactement à la constitution d'aucun des minéraux précédents. L'interprétation qui

semble la meilleure consiste à l'envisager comme un talc imprégné d'oxyde de nickel. Le diagramme de Debye et Scherrer ne met en évidence que les raies du talc.

UNOMÉITE d CALCULÉ EN Å.	TALC d CALCULÉ EN Å.
	10,97 (F.)
8,70 (F.)	8,70 (F.)
4,72	4,72
4,45 (A.F.)	4,45 (F.)
3,20	3,20
3,04 (A.F.)	3,04 (F.)
2,56	2,56
2,43	2,43
	2,18
	2,09
	1,83
	1,65
1,52 (F.)	1,52 (F.)
	1,39
1,30	
	1,17

Après calcination elles ont entièrement disparu et sont remplacées par celles de l'enstatite et par trois raies de la cristobalite. Les mêmes faits s'observent bien dans la calcination d'un talc typique.

NOUMÉITE CALCINÉE d CALCULÉ EN Å.	ENSTATITE d CALCULÉ EN Å.	CRISTOBALITE d CALCULÉ EN Å.
4,27		4,27 (A.F.)
		4,02 (F.)
3,12 (F.)	3,12 (F.)	
2,87 (F.)	2,87 (A.F.)	3,08 (A.F.)
2,79		2,79
	2,70	
2,48 (F.)	2,48 (A.F.)	

NOUMÉITE CALCINÉE d CALCULÉ EN Å.	ENSTATITE d CALCULÉ EN Å.	CRISPOBALITE d CALCULÉ EN Å.
		2,48 (A.F.)
	2,10 (A.F.)	2,08
		2,01
1,97	1,97	1,97
1,73	1,73	1,86
1,67		1,67
		1,59
		1,51
1,47 (F.)	1,47 (A.F.)	1,48
	1,41 (A.F.)	1,41
		1,35
	1,30	1,31
		1,29
1,26	1,26	1,27
	1,21	1,20
	1,18 (A.F.)	1,14
	1,11	
1,07	1,07	

A ce sujet, je ferai la remarque suivante : d'après les diagrammes que j'ai obtenus avec les produits de calcination du talc, rien ne m'a permis de penser, comme l'a signalé H. Haraldsen (58), que le métasilicate Si O_2 , Mg O était différent de l'enstatite, car la coïncidence des raies de ce métasilicate avec celles de l'enstatite est tout aussi satisfaisante que dans les cas précédemment étudiés.

En résumé, l'identification de cette nouméite est délicate et ne peut être effectuée que par la combinaison de plusieurs méthodes. Elle est essentiellement formée de talc et doit être rapprochée des échantillons de ce minéral décrits, dans la même région, par M. A. Lacroix.

Le minerai malgache est formé de talc et d'antigorite, tandis que celui de la Nouvelle-Calédonie est un mélange de sépiolite et d'antigorite.

III. — AUTRES GISEMENTS.

Nouméite, île Zebirget (N° 110.257). — Ce minéral forme un très léger enduit vert qu'il n'a pas été possible d'étudier par une autre méthode que par les rayons X. Le spectre obtenu présente huit raies qui peuvent être rapportées à celles de l'antigorite.

Pimélite de Franckenstein, Silésie (N° 54.388). — Elle est verte à éclat gras et donne un spectre X dont les raies sont celles de l'antigorite; malheureusement je n'ai pu faire une étude plus complète de ce minéral ayant trop peu de substance à ma disposition.

Rewdanskite de Rewdansk (N° 78.260). — Échantillon vert pâle de consistance argileuse très friable dont la courbe d'analyse thermique présente un crochet endothermique vers 150° et un second vers 530°. Une telle courbe est difficile à interpréter. On peut hésiter entre une argile du groupe du kaolin et une antigorite.

L'étude du diagramme de Debye et Scherrer de la rewdanskite montre d'assez nombreuses raies qui ne peuvent être rapportées à la kaolinite mais qui coïncident avec celles de l'antigorite. D'autre part, le spectre du produit calciné est constitué par un mélange d'enstatite et d'olivine et aucune des raies de ce spectre ne concorde avec celles du kaolin de Djebel Debar, calciné à 1100°. On peut donc considérer la rewdanskite, non comme une espèce distincte, mais comme une antigorite nickélifère.

Roettisite de Roettis, Voigtland (N° 96.99). — C'est un minéral poreux vert pâle dont l'aspect rappelle beaucoup celui de la nouméite de Vato. L'étude thermique fournit une courbe présentant trois crochets endothermiques

vers 150°, 580° et 960°. Une telle courbe est très analogue à celle du minéral de Vato et correspond vraisemblablement à un mélange de talc et d'une petite quantité d'antigorite. Le diagramme X présente très peu de raies mais elles correspondent, pour la plupart, à celles du talc. Après calcination, le produit est parfaitement cristallisé, les raies sont fines, extrêmement nombreuses, et peuvent être rapportées à celles d'un mélange d'enstatite, d'olivine et de cristobalite. Ces données confirment les résultats de l'étude thermique ; la roettisite doit être envisagée comme un mélange de talc et d'antigorite probablement nickélifères.

RÉSUMÉ

Ainsi, les silicates de nickel étudiés ne correspondent pas à des espèces minéralogiques spéciales. Nous avons montré que le nom de nouméite servait à désigner le plus souvent une antigorite, parfois un talc, ou une sépiolite ou même un mélange de ces minéraux. D'autre part, nous avons vu qu'une même espèce minérale était désignée par des noms différents : nouméite, rewdanskite, pimélite. Cette confusion s'explique par l'impossibilité, presque complète, dans laquelle on se trouvait autrefois, pour interpréter correctement l'analyse chimique par les seules données de l'examen microscopique.

C'est en faisant appel à d'autres méthodes d'investigation physiques et physico-chimiques qu'il est possible d'arriver à une identification de ces minéraux.

Les données nouvelles, établies ci-dessus, permettent de simplifier beaucoup la nomenclature de ces silicates, puisque tous se rattachent à quelques types magnésiens bien défi-

nis. Rien dans cette étude ne permet de penser que d'une manière générale, le silicate de magnésie se trouve imprégné d'hydrate de nickel. On ne connaît pas encore l'hydrate de nickel dans la nature, et l'analyse thermique ne met en évidence aucun crochet pouvant se rapporter à la déshydratation de cette substance. De plus, les courbes thermiques, les formules chimiques et les spectres de Debye et Scherrer de ces minéraux nickélifères étant rigoureusement identiques à ceux des types purement magnésiens, il est logique d'interpréter la présence du nickel par un remplacement du magnésium par ce métal. Ce remplacement est en accord avec l'analogie étroite qui existe entre les dimensions des atomes de ces deux métaux. Il est à remarquer, d'autre part, que tous ces minéraux sont cristallisés, contrairement à ce que l'on pensait jusqu'ici ; certes les diagrammes X de quelques-uns d'entre eux sont composés de raies floues mais aucun ne s'est montré complètement amorphe. Au point de vue de la nomenclature, il est donc à recommander de remplacer les nombreux noms jusqu'ici employés : garniérîte, nouméïte, pimélite, népouïte, roettisite, etc..., par les noms des espèces magnésiennes suivis du terme nickélifère. Cette façon de désigner ces minéraux est d'autant plus justifiée que le nickel y joue le rôle du magnésium. Seul, le terme de garniérîte pourrait être conservé pour désigner le minéral.

Il est à noter enfin que s'il n'a pas été possible de trouver l'équivalent ferrique des antigorites, les types nickélifères sont fréquents.

En ce qui concerne la genèse de ces minéraux, je ne puis donner quelques indications que pour ceux de Thio, Nouvelle-Calédonie, car j'en ai examiné un très grand nombre d'échantillons. Ainsi que j'ai eu l'occasion de le constater dans l'étude des serpentines, les antigorites α sont vrai-

semblablement d'origine superficielle. Or, à Thio, tous les minerais sont constitués par l'antigorite α . Il y a donc lieu de penser avec M. A. Lacroix et M. E. Glasser (49) que ce gisement est bien de formation actuelle d'origine superficielle ainsi que le prouve un insecte trouvé dans la nouméite (74).

CHAPITRE VIII

ESSAI DE CLASSIFICATION DES MINÉRAUX DES SERPENTINES

Tout minéralogiste spécialisé dans la description des espèces doit chercher à systématiser ses observations en dégageant, dans les divers groupes qu'il étudie, les caractères spécifiques essentiels et accessoires des individus qui les composent.

Il résulte des recherches que je viens d'exposer que les seuls caractères essentiels pouvant servir de base à une classification des minéraux des serpentines sont les caractères physiques et physico-chimiques, puisque les caractères cristallographiques et optiques ne sont pas encore accessibles à des observations rigoureuses.

Au point de vue chimique on peut diviser les minéraux des serpentines en deux groupes comprenant les *types purement magnésiens* et les *types nickélifères*. Pour désigner ces types, un seul nom nous paraît devoir être conservé, celui d'antigorite, le terme de serpentine étant utilisé pour nommer les roches.

Un autre caractère, qui doit très probablement être envisagé comme essentiel, est celui qui est mis en évidence par l'analyse thermique. Il en sera tenu compte dans la nomenclature de chaque groupe au moyen des désignation d'anti-

gorite α (présentant le phénomène d'incandescence) et d'antigorite β (ne présentant pas ce phénomène). Mais on ne peut négliger complètement l'aspect extérieur qui est souvent si frappant. D'autant plus qu'il est lié à la texture sub-microscopique des agrégats cristallins constituant les antigorites.

Cette notion de texture qui se retrouve dans plusieurs groupes de minéraux est particulièrement nette dans celui des antigorites, que l'on ne connaît pas sous d'autre forme que celles d'agrégats fibreux d'une extrême finesse et présentant différentes modalités probablement en rapport avec le facies.

D'autre part, il est très vraisemblable, que la texture est la cause de certaines propriétés physiques ou physico-chimiques de ces minéraux. Nous croyons avoir montré qu'elle est à l'origine de leurs propriétés optiques apparentes. On peut penser aussi qu'elle intervient dans les différences constatées à l'analyse thermique. Enfin ses modalités sont sans doute en liaison avec des conditions de formations particulières.

Toutes ces raisons nous incitent donc à tenir compte de la notion de facies dans la classification des antigorites.

En se basant sur ces considérations générales on parvient à la classification suivante :

I. — TYPES MAGNÉSIENS.

1. — Minéraux.

Je propose de classer ces minéraux en antigorites α et gorites β . Dans chacun de ces sous-groupes il est possible d'établir plusieurs variétés d'après le facies du minéral.

J'indiquerai dans ces subdivisions comment se trouvent réparties les espèces distinguées par les anciens auteurs.

A. — ANTIGORITES α .

- a. — *pseudo-cubiques* : antigorite,
- b. — *xyloïdes* : métaxite, picrolite, baltimorite, dermatine, schweitzérite,
- c. — *schisteuses* : antigorite,
- d. — *palygorskitiques*.
- e. — *compactes* : bowénite, williamsite, deweylite, cérolite,
- f. — *asbestiformes* : chrysotile.

Il faut remarquer d'ailleurs que ces deux derniers aspects sont très rares parmi les antigorites α ; ils appartiennent surtout au type suivant :

B. — ANTIGORITES β .

- a. — *pseudo-cubiques* : antigorite,
- b. — *xyloïdes* : métaxite, picrolite, baltimorite, dermatine, schweitzérite, picrosmine.
- c. — *compactes* : bowénite, williamsite.
- d. — *asbestiformes* : chrysotile.

Étant donné l'importance de ce dernier facies et sa très grande fréquence dans le groupe des antigorites, il est nécessaire de conserver aux antigorites β asbestiformes le nom de chrysotiles.

Il est vraiment sans intérêt de continuer à utiliser les termes de métaxite, picrolite, schweitzérite, baltimorite, bowénite, williamsite, dermatine ; de plus les noms de deweylite, cérolite et picrosmine ne s'appliquant pas à des espèces distinctes doivent disparaître de la nomenclature.

2. — Roches.

Comme on peut rapprocher les serpentines des antigorites, leurs constituants essentiels étant identiques, il est possible, par analogie, de les diviser en deux groupes :

A. — SERPENTINES α .

B. — SERPENTINES β .

Le groupe des γ chrysotiles comprenant les constituants des roches dans la classification de F. Syromiatnikoff paraît donc inutile.

II. — TYPES NICKÉLIFÈRES

Ces types forment les constituants essentiels des minerais de nickel. On peut envisager ici les minéraux et les minerais.

1. — Minéraux.

Ils se divisent en deux : antigorites nickélifères α et antigorites nickélifères β .

Dans chacun de ces sous-groupes il est possible, comme dans le cas des types purement magnésiens, de faire des distinctions en tenant compte du facies, caractère qui ne peut être négligé par le naturaliste.

A. — ANTIGORITES NICKÉLIFÈRES α .

a. — *xyloïdes*.

b. — *compactes* : nickel-gymnite, pimélite.

c. — *mamelonnées, stalactiformes* : nouméite, garniérite.

d. — *vermiculées* : népouite.

B. — ANTIGORITES NICKÉLIFÈRES β .

Ces types sont très rares, aussi n'est-il pas nécessaire de les subdiviser.

Les très nombreux noms utilisés jusqu'à présent paraissent inutiles puisqu'ils ont été employés pour désigner des espèces différentes et même des mélanges. Les termes de nouméite, pimélite, népouite, roettisite, rewdanskite, nickel-gymnite, genthite, etc., tombent en synonymie. Seul celui de garniérite peut encore être conservé au point de vue technique pour désigner le minéral.

2. — Minerais.

Ce sont les « garniérites » : antigorites α et antigorites β seules ou associées à d'autres minéraux tels que le talc ou la sépiolite. Les premières sont d'ailleurs de beaucoup les plus fréquentes.

CONCLUSIONS

Résumons brièvement les résultats des recherches exposées dans ce mémoire.

En joignant à l'étude optique et à l'analyse chimique, plusieurs méthodes d'investigation nouvelles, notamment l'analyse thermique différentielle et l'analyse cristalline au moyen des rayons X, j'ai cherché à établir les caractères spécifiques essentiels des minéraux des serpentines.

J'ai montré ainsi que les divers facies qu'ils présentaient n'étaient que des caractères accessoires ; ils correspondent à des différences de texture dans les agrégats cristallins que constituent ces minéraux. Cette notion de facies, intéressante au point de vue descriptif, est donc un caractère fragile ne pouvant servir à l'identification d'une espèce ; elle permet de définir une variété.

Parmi les autres propriétés physiques, la densité, les indices de réfraction sont les mêmes ; quant au signe optique, il ne paraît être qu'une propriété apparente puisqu'il n'est observable que sur des paquets de fibres excessivement fines, presque submicroscopiques, d'orientations optiques différentes.

Composition chimique. — La composition chimique de tous ces silicates est la même. Ils répondent à la formule

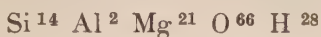
$H^4 Mg^3 Si^2 O^9$. Les analyses mettent souvent en évidence de petites quantités d'aluminium. On peut donc penser que ce métal remplace un peu de magnésium suivant la substitution :



ce qui revient à considérer, avec M. Ch. Mauguin (85), que l'antigorite résulte du remplacement total de Al par Si Mg dans un clinocllore de formule :



Dans ces conditions, la formule d'une antigorite, en tenant compte de l'aluminium qu'elle renferme, serait, dans le cas du type le plus alumineux, l'antigorite d'Antigorio :



Évidemment, l'aluminium peut être remplacé partiellement par Fe III.

Décomposition par l'eau. — Reprenant sous une forme différente l'étude de Clarke et Schneider sur la décomposition des serpentines, j'ai étudié l'action de l'eau pure sur les variétés compactes et fibreuses d'antigorites. J'ai constaté que ces minéraux étaient nettement attaqués et que la partie soluble avait la composition de l'olivine.

Action de la chaleur. — L'étude détaillée de cette action m'a fourni tout un ensemble de résultats intéressants, grâce à l'emploi systématique de l'analyse thermique différentielle. J'ai divisé ainsi les antigorites en deux groupes :

1. — Les antigorites α , caractérisées par un phénomène endothermique dû au départ de l'eau à 650° et par un phénomène exothermique à 750° .

2. — Les antigorites β , ne présentant que le phénomène endothermique dû à la déshydratation à 650°.

J'ai montré que le phénomène exothermique caractéristique des antigorites α correspondait à l'incandescence de la substance, facilement observable par chauffage sur un brûleur Meker.

D'autre part, en suivant méthodiquement l'action progressive de la chaleur, à l'aide de l'analyse cristalline aux rayons X par la méthode des poudres, j'ai montré que les antigorites α donnent naissance, après déshydratation à 650°, à une substance amorphe qui recristallise instantanément, au moment du phénomène exothermique, en un mélange d'enstatite et d'olivine. Dans le cas des antigorites β au contraire, la phase amorphe n'existe pas et la recristallisation s'effectue progressivement pendant la déshydratation. On voit donc que, contrairement à ce que l'on pensait autrefois, l'olivine et l'enstatite se forment en même temps, et qu'il n'est pas nécessaire de chauffer longtemps à haute température pour les obtenir.

Déshydratation. — Les résultats fournis par l'analyse thermique, en ce qui concerne le départ de l'eau, ont été précisés par l'étude de la déshydratation dans le vide. J'ai constaté ainsi que l'eau s'échappait en une seule fois à la température de 560°, et que la teneur en eau de constitution était rigoureusement la même pour les différents facies d'antigorites; les types α et β se comportent de la même façon. Quant à la teneur en eau d'adsorption elle est peu variable et s'échappe totalement entre 100° et 250° environ.

J'ai fait voir aussi que l'analyse thermique différentielle permet une identification rapide des divers silicates hydratés asbestiformes tels que : antigorite, sépiolite, palygorskite et amphibole. Enfin cette méthode trouve une

application pratique dans l'étude des « amiantes » utilisées dans l'industrie.

Enfin, au cours de ce travail, aucune observation ne m'a permis d'établir une différence quelconque entre les constituants essentiels des serpentines et les minéraux à facies exceptionnels, pour lesquels on a créé les noms d'antigorite ou de chrysotile, que l'on y rencontre dans des fissures sous forme d'accidents minéralogiques. Ils en possèdent toutes les propriétés physiques et chimiques.

Les antigorites dites ferrifères. — Parmi les nombreux échantillons que j'ai étudiés, je n'ai pas rencontré de variétés ferrifères d'antigorites ; toutefois dans les produits d'altération des olivines très ferrifères des basaltes il est possible qu'il se forme de l'iddingsite : l'antigorite ferrifère. Mais la bowlingite, considérée comme telle, est un facies fibreux de saponite.

Quant aux xylotile il n'est pas un chrysotile ferrifère mais constitue une espèce indépendante.

Les antigorites nickélifères. — Par contre les variétés nickélifères d'antigorites sont très fréquentes. Elles forment le constituant essentiel des minerais silicatés de nickel ou garniérites.

Cause de l'incandescence des antigorites α . — Si j'ai pu démontrer que le phénomène exothermique présenté par les antigorites α après leur déshydratation correspondait à une recristallisation brusque de la substance, il ne m'a pas été possible, jusqu'à présent, d'en déterminer la cause. Il reste à trouver, notamment, pourquoi cette recristallisation est progressive dans le cas des antigorites β . Deux hypothèses peuvent être faites dans cet ordre d'idées :

1. — L'action catalytique ou retardatrice de traces de matières étrangères présentes dans l'une des variétés d'antigorites et absentes dans l'autre. La recherche de ces

traces pourrait être effectuée par l'analyse spectrale ou l'utilisation des phénomènes de luminescence cathodique.

2. — La différence observée dans le mécanisme du phénomène de recristallisation serait en relation avec une différence dans la structure cristalline. Il serait donc intéressant de reprendre sur un plus grand nombre d'échantillons l'étude de la structure du chrysotile dont Bragg (112) nous a donné déjà une représentation très suggestive.

Quoi qu'il en soit, le présent travail rassemble les données préliminaires indispensables à toute étude de structure dans ce groupe de minéraux, puisqu'il en indique les types les plus caractéristiques.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Les chiffres en caractères gras, placés entre parenthèses dans le texte renvoient aux numéros de cet index.

1. ANGEL, F. — Stubachit und Stubachitserpentin vom Ganoz; *Zeit. f. Krist.*, t. 72, 1930, p. 1-41.
2. BECKE, F. — Olivinfels und Antigorit-Serpentin aus dem Stubachthal; *Tsch. miner. und petro. Mittheil.* (2), B. 14, 1894-95, p. 271-276.
3. BEHRENS, TH. — Encyclopédie chimique, analyse microchimique, 1893.
4. BENSON, W.N. — The origin of serpentine, a historical and comparative study; *Amer. Journ. of Sc.* (4), t. 46, 1918, p. 693-731.
5. BERMAN, H., WEST, C. D. — Fibrous brucite from Quebec; *Amer. Min.*, vol. 17, n° 7, 1932, p. 313-316.
6. BONNEY, T.G., RAISIN, C. A. — The microscopical structure of minerals forming serpentine and their relation to its history; *Quart. Journ. Geol. Soc.*, t. 61, 1905, p. 670-715.
7. BRAUNS, R. — *Neues Jahrb. B. B.*; Bd 5, 1887, p. 275.
8. BRAUNS, R. — Betrachtungen über d. chem. Zusammensetzung d. Mineralien der Serpentin, Chlorit, und Glimmer-gruppe; *Neues Jahrb. f. Min.*, Bd. I, Abhandl., 1894, p. 205.
9. BRONGNIART, A. — Dans Benson W. N; *Amer. Journ. of Sc.*, (4), t. 46, 1918.
10. BRUNCK, O. — Dans Treadwell, *Traité d'analyse*, t. II, traduction française, 1912, p. 119.
11. BUCKING, H. — Beiträge zur Geologie von Celebes; *Sammlgn. d. geol. Reichsmuseums in Leiden*, (1), B. 7, 1902, p. 29-205.
12. BUKOWSKY, A. — Kuttenger Serpentinmineralien; *Programm*

- der Realschule in Kuttendorf*, 1906, 22 p., dans *Zeit. f. Kryst.*, t. 45, 1908, p. 403.
13. CAILLÈRE, S. — Sur une sépiolite fibreuse de Madagascar ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 196, 1933, p. 416.
 14. CAILLÈRE, S. — Étude de la dissociation thermique des minéraux des serpentines ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 196, 1933, p. 628.
 15. CAILLÈRE, S. — Recherches sur les serpentines ; *C. R. Congrès Soc. Sav.*, 1933, p. 134-142.
 16. CAILLÈRE, S. — Nouvelles observations sur les serpentines ; *C. R. Congrès Soc. Sav.*, 1934, p. 58-72.
 17. CAILLÈRE, S. — Sur l'incandescence de certaines serpentines après leur déshydratation ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 198, 1934, p. 1354.
 18. CAILLÈRE, S. — Observations sur la composition chimique des palygorskites ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 198, 1934, p. 1795.
 19. CAILLÈRE, S. — Étude de la déshydratation de la parasépiolite fibreuse de Madagascar ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 199, 1934, p. 1626.
 20. CAILLÈRE, S. — Sur la signification du phénomène d'incandescence présenté par certaines antigorites ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 200, 1935, p. 1055.
 21. CAILLÈRE, S. — Sur les caractères spécifiques de la bowlingite ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 200, 1935, p. 1483.
 22. CAILLÈRE, S. — Sur les caractères spécifiques de la bowlingite et du xylole ; *C. R. Congrès Soc. Sav.*, 1935, p. 40-43.
 23. CAILLÈRE, S. — Composition minéralogique des minerais silicatés de nikel ; *Congrès des Mines*, Paris, 1935.
 24. CIRKEL, F. — Chrysotile Asbestos, its occurrence, exploitation, milling and uses ; *Canada Depart. of Mines*, 1910, n° 69, 302 p.
 25. CLARKE, F. W. — The constitution of the natural silicates ; *U. S. Geol. Survey, Bull.* n° 588, 1914, p. 59-65.
 26. CLARKE, W. B. — Dans Dana : *Append.*, t. 2, 1875, p. 23.
 27. CLARKE, F. W., SCHNEIDER, E. A. — Experimentaluntersuchungen über die Constitution der natürlichen Silicate ; *Zeit. von Groth*, t. 18, 1891, p. 390-418.
 28. CLARKE, F. W., STEIGER, G. — Action of Ammonium chloride upon certain Silicates ; *Amer. Journ. of Sc.* (4), t. 13, 1902, p. 27-38.

29. COSSA, A. — Sul serpentino di Verrayes im Aosta-Thal, Piemont; *R. Accad. dei Lincei*, 3^e Mémoire, vol. II, 1878.
30. COULSON, A. L. — Asbestos in the ceded district of the Madras Presidency with notes on its occurrence in other parts of India; *Mem. of Geol. Surv. of India*, vol. LXIV, 2^e partie, 1934.
31. DANA, J. D. — The system of Mineralogy, 1892, p. 709.
32. DAUBRÉE. — Expériences synthétiques relatives aux météorites. Rapprochements auxquels ces expériences conduisent tant pour la formation des corps planétaires que pour celle du globe terrestre; *C. R. Ac. Sc.*, t. 62, 1866, p. 660.
33. DE NEUVILLE, R. — Les silicates naturels; *Bull. Soc. Sc. Nat. de l'Ouest*, (5), t. II, 1932, p. 166-171.
34. DES CLOIZEAUX, A. — Manuel de Minéralogie, t. I, 1865, p. 112.
35. DES CLOIZEAUX, A. — Nouméite; *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. I, 1878, p. 28.
36. DES CLOIZEAUX, A. DAMOUR, A. — *Ann. de Chimie et de Phys.*, t. 59, 1860, p. 357.
37. DUFRENOY, DE BEAUMONT, E. — Explication de la carte géologique de la France; t. I, 1841, p. 90.
38. DUPARC, L. — Contribution à l'analyse des silicates naturels; *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 42, 1919, p. 138-241.
39. DUPARC, L., SIGG, H. — Sur un gisement de tourmaline dans une serpentine de l'Oural; *Bull. Soc. fr. Min.*, t. 37, 1914, p. 14.
40. DU RIETZ, T. — Peridotites, serpentines, and soapstones; *Geologiska Föreningens*, B. 57, h. 2, 1935, p. 133-260.
41. FERSMANN, A. — Les palygorskites (en russe); *Mémoire de l'Ac. d. Sc. Saint-Petersbourg*, 1913, p. 1-430.
42. FOGY, D. — Serpentin, Meerschäum und Gymnit; *Sitz.-Ber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien, math.-naturw. Kl.*, B. 115, Abt. I, 1906, p. 1081-1094.
43. VON FOULLON, F. — Ueber das Nickelerzvorkommen von Frankenstein in Preuss.-Schlesien; *Oesterr. Zeit. für Berg- und Huttenwesen*, t. 43, 1895.
44. FRENZEL, A. — Mineralogisches; *Tsch. miner. und petrogr. Mittheil.* (2), t. 3, 1880, p. 504-516.
45. FRIEDEL, G. — Sur une serpentine de Bewster, New York, *Bull. Soc. fr. Min.*, t. 14, 1891, p. 120-127.

46. GALLITELLI, P. — Ricerche microscopiche e chimiche sulle serpentine dell' Appennino modenese; *Period. di Miner.*, 1^{re} année, 1930, p. 173-192.
47. GAUBERT, P. — Mesure des indices de réfraction d'un solide par immersion dans un liquide porté à une température déterminée; *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 46, 1922, p. 89-94.
48. GLASSER, E. — Rapport sur les richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie; *Ann. des Mines*, 2^e semestre 1903, 1^{er} semestre 1904.
49. GLASSER, E. — Sur une nouvelle espèce, la népouite; *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 30, 1907, p. 17-40.
50. GLOCKER. — Sinops miner. Halle, 1847, p. 97.
51. — GOGUEL, H. — Chrysotile de Médous; *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 11, 1888, p. 155.
52. COUYAT, J. — Sur quelques minéraux d'Égypte; *Bull. Soc. fr. Min.*, t. 31, p. 344-349.
53. COUYAT, J. — Note sur les minéraux rapportés de Madagascar par M. Geay; *Bull. Muséum*, N° 1, 1906.
54. HALL, A. L. — Further notes on the asbestos occurrences near Kaapsche Hoop in the Barberton District; *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, 1923, p. 34-49.
55. HAMBERT, A. — Mineralogische Studien; *Geol. Fören. Forhandl.*, 1904, t. 26, p. 67-86.
56. HANNAY, J. B. — On Bowlingite, a new Scottish Mineral, *Mineral. Magaz. a. Journ. of the Soc. of Gr. Brit. a. Irel*, n° 5, t. I, 1877, p. 154.
57. HARALDSSEN, H. — Eine röntgenographische und chemische Untersuchung über die thermische Umbildung des Serpentin; *Centralbl. f. Min. Geol. und Paläont.*, Abt. A, 1928, p. 297-315.
58. HARALDSSEN, H. — Beiträge zur Kenntnis der thermischen Umbildung des Talks; *Neues Jahrb. f. Miner.*, 61 A, 1930, p. 139-164.
59. HARE, R. B. — Die Serpentinmasse von Reichenstein und die darin vorkommenden Mineralien, *Inaug. Dissert.*, Breslau, 1879; *Im Ausz. Ber. d. d. chem. Ges.*, t. 12, 1879, p. 1895-1902.
60. HEDDLE. — Chapters on the Mineralogy of Scotland; *Trans. of Roy. Soc. Edinburgh*, t. 29, 1880, p. 96.

64. HESS, H. H. — The problem of serpentinisation and the origin of certain chrysotile asbestos talc and soapstone deposits ; *Econ. Geol.*, t. 28, 1933, p. 634-657.
62. HEURTEAU, E. — Constitution géologique et richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie ; *Ann. des Mines*, 7^e série, t. 9, 1876, p. 234-454.
63. HILLEBRAND, S. — Serpentin und Heulandit ; *Sitz.-Ber. d. Akad. der Wissensch. in Wien, math.-naturw. Kl* ; B. 115, Abt. I, 1906, p. 697-712.
64. HILLEBRAND, W. F. — The analysis of silicate and carbonate rocks ; *U. S. Geol. Survey, Bull.* n° 700, p. 1-285.
65. HINTZE, C. — Handbuch der Mineralogie, t. II, 1897, p. 803.
66. ISKÜLL, V. — Recherches expérimentales sur la constitution des silicates (en russe), Pétrograd, 1917, 310 p., extr. dans *Mineralog. Magaz.*, vol. 20, n° 5, 1924, p. 207-215.
67. JAKOB, J. — Über den Chemismus der Serpentine ; *Schweiz. Miner. u. Petrog. Mitt.*, Bd. 11, 1931, p. 56-66.
68. JAKOB, J. — Nouvelle opinion sur la constitution des silicates ; *Actes de la Soc. Helvétique. d. Sc. Nat. d. Neufchatel*, 1920, 101^e session, p. 200.
69. KEITH, S. B., BAIN, G. W. — Chrysotile asbestos ; *Econ. Geol.*, vol. 27, 1932, p. 169-188 et 281-297.
70. KLING A., LASSIEUR, A. — *Chimie et Industrie*, vol. 12, 1924, p. 1003.
71. KOVAŘ, F. — Chemische Untersuchung einiger bulgarischer Mineralien ; *Abhandl. d. böhm. Akad. Prag*, n° 27, 1900. Dans *Zeit. f. Kryst.*, t. 36, 1902, p. 202.
72. LACROIX, A. — Minéralogie de la France et de ses Colonies ; t. 1, p. 418.
73. LACROIX, A. — Minéralogie de Madagascar, t. I, p. 492.
74. LACROIX, A. — Sur une pseudomorphose d'insecte en nouméite ; *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 26, 1903, p. 303.
75. LACROIX, A. — A propos de la tourmaline des serpentines ; *Bull. Soc. fr. Min.*, t. 37, 1914, p. 75.
76. LE CHATELIER, H. — *Bull. Soc. chimique*, t. 47, 1887, p. 303.
77. LEITMEIER, H. — dans Doelter, C., *Handbuch der Mineralchemie*, Bd II, p. 385-432.
78. LEMBERG, J. — Zur Kenntniss der Bildung und Umbildung von Silicaten ; *Zeit. Deutsch. geol. Ges.*, t. 39, 1887, p. 559-601.

79. LEMBERG, J. — Zur Kenntniss der Bildung und Umwandlung von Silicaten ; *Zeit. Deutsch. geol. Ges.*, t. 40, 1888, p. 649.
80. LIEBISCH, TH. — *Sitzber. Berliner Ak.*, t. 20, 1910, p. 351.
81. LINDNER, A. — Experimentelle Prüfung der von Clarke und Schneider für den Serpentin aufgestellten Constitutionsformel ; Inaug.-Diss. Breslau, 1893, p. 1-36, dans *Zeit. f. Kryst.*, t. 23, 1896, p. 589.
82. LIVERSIDGE. — *Proc. Roy. Soc. N. S. Wales*, t. 14, 1880, p. 231.
83. LOEWINSON-LESSING, M. F. — Sur l'autocatalyse magmatique et les minéraux protopneumatolytiques des roches ignées ; *Bull. Soc. fr. Min.*, t. 43, 1922, p. 35.
84. MAC MAHON, C. A. — *Min. Magaz. and Journ. of the Min. Soc.*, n° 42, 1890, t. 9, p. 187-191.
85. MAUGUIN, CH. — La maille cristalline des chlorites ; *Bull. Soc. Fr. Minér.*, t. 53, 1930, p. 279-300.
86. MERRILL, G. P. — On the serpentine of Montville, New Jersey ; *Proceedings of U. S. Nat. Mus.*, t. 11, 1888, p. 105.
87. MERRILL, G. P. — Notes on the serpentinous rocks of Essex county, New York ; *Proceedings of U. S. Nat. Mus.*, t. 12, 1890, p. 295.
88. MOORE, E. S. — A magnetite vein of Abnormal type ; *Econ. Geol.*, t. 27, 1932, p. 587-590.
89. MÜLLER, R. — Untersuchungen über die Einwirkung des kohlen-säure-haltigen Wassers auf einige Mineralien und Gesteine ; *Tsch. miner. und petro Mittheil.*, 1877, p. 25-48.
90. MUNTEANU-MURGOCI, G. — Ueber die Einschlüsse von Granat-Vesuvianfels in dem Serpentin des Parin-Massivs ; Inaug.-Diss. München ; *Bull. Soc. Sci. Bukar.*, t. 9, 1900, p. 568-612.
91. NIGGLI, P. — Lehrbuch der Mineralogie, 1926, p. 352-357.
92. ORCEL, J. — Sur la détermination des températures de départ de l'eau dans les silicates ; *C. R. Congrès Soc. Sav.*, 1925, Section des Sciences, p. 200-207.
93. ORCEL, J. — Recherches sur la composition chimique des chlorites, Thèse, 1927, 375 p. *Bull. Soc. fr. Minér.*, t. 50.
94. PAVLOVITCH, S. — Étude pétrographique des péridotites du massif de Zlatibor, Serbie occidentale ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 200, 1935, p. 1865.
95. PELATAN, — *Génie civil*, 1892.
96. PHILLIPS, F. C. — The serpentines and associated rocks and

- minerals of the Shetland Island ; *Quart. journ. of the geol. Soc. of London*, t. 83, 1927, p. 622.
97. PORTEVIN, E., GRAHAM, R. P. D. — Contributions of the mineralogy of Black Lake area, Quebec ; *Canada Depart. of Mines Geol. Survey, Museum Bull.*, n° 27, 1918.
98. REUSCH, E. — *Pogg. Ann.*, t. 127, 1866, p. 166.
99. RINNE, F. — Röntgenographische Untersuchungen an einigen feinzerteilten Mineralien, Kunstprodukten und dichten Gesteinen ; *Zeit. f. Kryst.*, t. 60, 1924, p. 55-69.
100. ROSS, C. S., SHANNON, E. V., GONGER, F. A. — The formation of Nickel Silicates by base exchange ; *Amer. Min.*, t. 13, 1928, p. 110.
101. SALADIN, LE CHATELIER, H. — *Revue de Métallurgie*, t. I, 1904, p. 134, et t. IX, 1912, p. 135.
102. SAVTCHENKO. — Ueber Palygorskit ; *Verh. d. gesell. Mineral. Petersb.*, 1862, p. 102.
103. SCHRAUF, A. — Beiträge zur Kenntniss des Associationskreises der Magnesiasilicate ; *Zeit. f. Kryst.*, t. 6, 1881-1882, p. 321-387.
104. SJÖGREN, HJ. — *Geol. Foren. Forh.*, t. 17, 1895, p. 268.
105. SYROMIATNIKOFF, F. — Analyse thermique du Chrysotile-asbeste (en russe) ; *Bull. Soc. Nat. Moscou, S. Géologique*, t. XII, 1934, p. 137-149.
106. SYROMIATNIKOFF, F. — Classification, nomenclature et identification des minéraux du groupe du chrysotile (en russe) ; *Bull. Soc. Nat. Moscou, S. Geol.*, 1934, t. 12, p. 564-573.
107. TERCHNYCH, B. — *Bull. Soc. Russe Miner.*, (2), t. 55, fasc. 1, 1926.
108. TERREIL, A. — Analyse d'une chrysotile (serpentine fibreuse ayant l'aspect de l'asbeste) ; silice fibreuse résultant de l'action des acides sur les serpentines ; *C. R. Ac. Sc.*, t. 100, 1885, p. 251.
109. TSCHERMAK, G. — Die chloritgruppe ; *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss.*, Vienne, B. 99, Ab. 1, 1890, p. 174-266.
110. VERNADSKY, W. J. — Zur Theorie der Silicate ; *Zeit. f. Kryst.*, t. 34, 1901, p. 37-66.
111. WAGNER, P. A. — On olivine rocks and serpentines of the Bushweld complex ; *Trans. Geol. Soc. of S. Africa*, 1923, p. 13-30.

112. WARREN, B. E., LAWRENCE BRAGG, W. — The structure of chrysotile $H^4 Mg^3 Si^2 O^9$; *Zeit. f. Kryst.*, t. 76, p. 201-210.
113. WARTHA, V. — Ueber Serpentine im Allgemeinen und im Speciellen über den von Montafun in Tirol; *Földtani Közlöny*, 1884, p. 571-591.
114. WEBSKY, S. — Optisct. Untersuchungen über d. Struktur d. Serpentine; *Zeit. d. deutsch. geol. Gesells.*, t. X, 1858, p. 277.
115. WEINSCHENK, E. — Die Minerallagerstätten des Gross-Venedigerstokes in den Hohen Tauern; *Zeit. f. Kryst.*, t. 26, 1896, p. 337-508.
116. WEINSCHENK, E. — Weitere Beiträge zur Kenntniss der Mineral-lagerstätten der Serpentine in den östlichen Centralalpen; *Zeit. von Groth*, t. 27, 1897, p. 539-576.
117. WELLS, F. G. — The hydrothermal alteration of serpentine; *Amer. Journ. of Sc.*, t. 18, 1929, p. 35-52.
118. ZAMBONINI, F. — *Atti R. Accad. delle Scienze Fis. e Mat.*, t. 16, 1908, n° 1, p. 1-127, dans *Zeit. f. Kryst.*, t. 49, 1911, p. 73.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	7

CHAPITRE I. — HISTORIQUE.

<i>Genèse des minéraux des serpentines</i>	11
<i>Composition chimique et constitution</i>	13
<i>Propriétés physiques</i>	17
Propriétés optiques.....	17
Étude thermique.....	19
Structure cristalline.....	20

CHAPITRE II. — ÉTUDE PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES MINÉRAUX PUREMENT MAGNÉSIENS DE LA SERPENTINE.

<i>Méthodes utilisées</i>	22
Préparation de l'échantillon.....	22
Mesure de la densité.....	23
Mesure des indices.....	23
Mesure de la biréfringence.....	24
Mesure de l'épaisseur des fibres.....	25
Méthodes d'analyses.....	25
Contrôle des résultats analytiques.....	28
<i>Description des échantillons étudiés</i>	28
Variétés possédant une forme cristalline apparente.....	29
Variétés xylôïdes.....	31

Variétés compactes.....	37
Variétés schisteuses.....	39
Variétés asbestiformes.....	40
Serpentines.....	44

CHAPITRE III. — ÉTUDE THERMIQUE.

<i>Analyse thermique différentielle.....</i>	55
Analyse thermique différentielle des minéraux des serpentines.....	57
L'analyse thermique appliquée aux serpentines massives.....	69
Complément à l'étude thermique différentielle.....	77
Essai d'interprétation du phénomène exothermique.....	80
<i>Étude de la déshydratation dans le vide.....</i>	85
Courbes de déshydratation.....	85
Déshydratation quantitative dans le vide.....	90

CHAPITRE IV. — ÉTUDE A L'AIDE DES RAYONS X DES SERPENTINES ET DE LEURS PRODUITS DE CALCINATION.

<i>Étude des minéraux des serpentines.....</i>	95
Étude des diagrammes des antigorites α	95
Étude des diagrammes des antigorites β	97
Étude des diagrammes des serpentines.....	100
<i>Étude des produits de calcination.....</i>	101
Étude des transformations subies pendant l'échauffement par les antigorites α	102
Étude des produits formés au cours de la calcination des antigorites β	104
Interprétation du phénomène exothermique.....	108

CHAPITRE V. — MINÉRAUX DES SERPENTINES A FACIES ABERRANT.

<i>Remarques sur quelques silicates magnésiens à facies asbestiforme ou papyracé n'appartenant pas aux minéraux des serpentines.....</i>	113
--	-----

CHAPITRE VI. — LES PRÉTENDUES « ANTIGORITES FERRIFÈRES ».

<i>La saponite (bowlingite)</i>	115
<i>Le xylotile</i>	122

CHAPITRE VII. — LES ANTIGORITES NICKÉLIFÈRES.

<i>Minéraux de la Nouvelle-Calédonie</i>	133
<i>Minéraux malgaches</i>	143
Autres gisements.....	149
Résumé... ..	150

CHAPITRE VIII. — ESSAI DE CLASSIFICATION DES MINÉRAUX .
DES SERPENTINES.

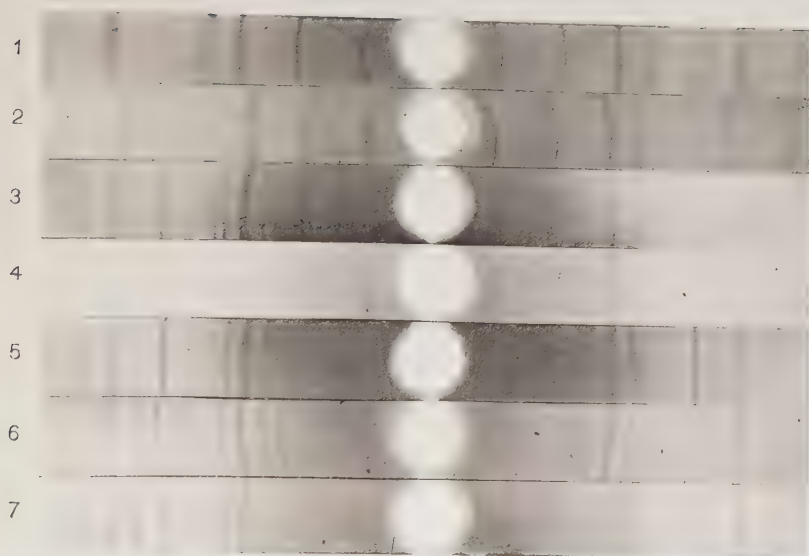
<i>Types magnésiens</i>	154
Minéraux.....	154
Roches.....	156
<i>Types nickélifères</i>	156
Minéraux.....	156
Minerais.....	157
CONCLUSIONS.....	158
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	163

ANTIGORITES α 

Identification des produits de calcination



- 1, 2, 3, 4, Métaxite de Reichenstein et ses produits de calcination.
 5, 6, 7, 8, Antigorite de Tilly Foster et ses produits de calcination.
 9, Enstatite ; 10, Picrolite du val d'Aoste calciné ; 11, Olivine.

ANTIGORITE β 

ANTIGORITE NICKÉLIÈRE



1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, Bowénite de Khotan et ses produits de calcination.
8, Népouite ; 9, Népouite calcinée.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Les phénomènes d'altération latéritique.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 16 juin 1936.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
CH. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,
S. CHARLÉTY.

